

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE
LOCALIZACIÓN EN ESPACIOS CERRADOS (INDOOR)**

MARTIN PEREIRA TAPIRO

WILLIAM ALEJANDRO POLO POVEDA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
SANTIAGO DE CALI
2015**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE
LOCALIZACIÓN EN ESPACIOS CERRADOS (INDOOR)**

MARTIN PEREIRA TAPIRO

WILLIAM ALEJADRO POLO POVEDA

**Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Mecatrónico e Ingeniero
electrónico y telecomunicaciones**

Director

Diego Fernando Almario

Ingeniero electricista, master en automática

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
SANTIAGO DE CALI
2015**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Industrial

HELMUT ALEXANDER RUBIO

Jurado

ALVARO JOSE ROJAS

Jurado

Santiago de Cali, 27 de marzo de 2015

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	14
INTRODUCCIÓN	16
1. ANTECEDENTES	18
2. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	21
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. OBJETIVOS	24
4.1 OBJETIVO GENERAL	24
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
5. MARCO TEÓRICO	25
5.1 CIUDAD INTELIGENTE	25
5.2 COMPUTACIÓN UBICUA	25
5.2.1 Primera aproximación	26
5.2.2 Segunda aproximación	26
5.3 IMPORTANCIA DE LA LOCALIZACIÓN	27
5.3.1 Localización outdoor	27
5.4 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS	27
5.4.1 Infrarrojos (Ir)	28

5.4.2 Bluetooth	29
5.4.3 WIFI	32
5.4.4 ZigBee	36
5.5 MÉTRICAS DE LA SEÑAL	37
5.5.1 TOA (Time Of Arrival)	37
5.5.2 TDOA (Time Difference Of Arrival)	38
5.5.3 AOA (Angle Of Arrival)	39
5.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN	41
5.6.1 Triangulación	41
5.6.2 Fingerprint	44
5.7 ALGORITMOS DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN	45
5.7.1 Los métodos de KNN	45
5.7.2 Los métodos bayesianos	46
5.7.3 Las redes neuronales	46
6. DESARROLLO Y PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	47
6.1 DESARROLLO Y PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN	47
6.2 MEDIDAS Y UNIDADES PARA LAS NECESIDADES	49
6.3 CASA DE LA CALIDAD (QFD)	51
7. GENERACIÓN, SELECCIÓN Y PRUEBA DE CONCEPTOS	55
7.1 CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA	55
7.1.1 Caja Negra	55

7.1.2 Descomposición funcional	55
7.2 GENERACIÓN DE CONCEPTOS	57
7.2.1 Combinación de conceptos	57
7.2.2 Representación de conceptos	58
7.2.3 Criterios	61
7.2.4 Matriz de Tamizaje	62
8. DISEÑO DETALLADO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	67
8.1 ESCENARIO	67
8.1.1 Facultad de Ingeniería	67
8.1.2 Biblioteca	68
8.1.3 Sótano	68
8.2 PLATAFORMA	69
8.2.1 IOS	69
8.2.2 iBeacon	69
8.2.3 Android	70
8.2.4 AltBeacon	70
8.3 ENTORNO INTEGRADO DE PROGRAMACIÓN (IDE)	70
8.3.1 Android Studio	71
8.3.2 Eclipse	71
8.4 TECNOLOGÍA EMPLEADA (BEACONS)	71
8.4.1 Arquitectura del paquete de datos	72
8.4.2 Funcionamiento	73

8.5 SELECCIÓN DE BEACONS	74
8.5.1 Kontakt	75
8.5.2 Estimote	76
9. DESARROLLO LÓGICO PRELIMINAR	79
9.1 DIGITALIZACIÓN DEL ESPACIO A TRABAJAR	79
9.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS BEACONS	80
9.3 LECTURA E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	82
10. ALGORITMO A IMPLEMENTAR	85
10.1 ADAPTACIÓN DEL ALGORITMO DE LOCALIZACION	85
10.2 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO	89
10.3 CALIBRACION DEL SISTEMA	90
10.4 LOCALIZACIÓN USUARIO	92
10.5 PROBLEMAS CONOCIDOS	94
11 PRUEBAS	96
11.1 PRUEBA 1	97
11.2 PRUEBA 2	100
11.3 PRUEBA 3	103
11.4 PRUEBA 3-1	106
11.5 PRUEBA 4	107
11.6 PRUEBA 5	110
11.7 PRUEBA 6	112

11.8 RESULTADOS OBTENIDOS	114
12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA APLICACIÓN	116
12.1 ESPECIFICACIONES DE LA APLICACIÓN	116
13. PRESUPUESTO	117
14. CONCLUSIONES	118
BIBLIOGRAFÍA	120
ANEXOS	128

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Planteamiento de la misión	47
Cuadro 2. Identificación de necesidades del usuario	48
Cuadro 3. Tabla de ponderación de necesidades	49
Cuadro 4. Medidas y unidades de las necesidades	50
Cuadro 5. Necesidades con el modelo de Kano	50
Cuadro 6. Primera matriz de tamizaje	63
Cuadro 7. Segunda matriz de tamizaje	64
Cuadro 8. Tercera matriz de tamizaje	65
Cuadro 9. Cuarta matriz de tamizaje	66
Cuadro 10. Principales diferencias entre Beacons de diferentes fabricantes	75
Cuadro 11. Presupuesto	117

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Método de estimación TDOA	39
Figura 2. Método de estimación AOA	40
Figura 3. Técnica de lateración	43
Figura 4. Técnica de angulación	44
Figura 5. Casa de la calidad: relación entre necesidades y requerimientos técnicos	52
Figura 6. Casa de la calidad: Capacidad de satisfacer las necesidades del cliente por parte del producto a desarrollar, y de productos similares de la competencia (benchmarking)	53
Figura 7. Casa de la calidad: relación del producto con los de diferentes empresas en relación con los requerimientos técnicos	54
Figura 8. Caja negra	55
Figura 9. Caja gris	56
Figura 10. Selección de conceptos	61
Figura 11. Aplicación Kontakt.io para iOS	76
Figura 12. Estimote Beacon	77
Figura 13. Aplicación Estimote para Android	78
Figura 14. Plano de planta de sótano 2 en el área del laboratorio de electrónica	80
Figura 15. Plano de planta de sótano 2 en el área del laboratorio de electrónica	84
Figura 16. Diagrama de Matlab mostrando el comportamiento del algoritmo con datos ideales	86

Figura 17. Diagrama de Matlab mostrando el comportamiento del algoritmo con datos ideales	87
Figura 18. Ubicación de los Beacons en una matriz	88
Figura 19. Capturas de pantalla de la aplicación en la actividad de guardar beacons	88
Figura 20. Diagrama de flujo de funcionamiento del algoritmo de localización	89
Figura 21. Diagrama de flujo para el proceso de calibración	91
Figura 22. Captura de pantalla de la aplicación en la actividad de calibración de los beacons	92
Figura 23. Diagrama de flujo del proceso de localización	93
Figura 24. Captura de pantalla de la aplicación en la actividad de localización del usuario	94
Figura 25. Disposición de los Beacons en la prueba 1	97
Figura 26. Ubicación de los Beacons para la prueba 1	98
Figura 27. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 1	99
Figura 28. Disposición de los Beacons en la prueba 2	100
Figura 29. Ubicación de los Beacons para la prueba 2	101
Figura 30. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 2	102
Figura 31. Disposición de los Beacons en la prueba 3	103
Figura 32. Ubicación de los Beacons para la prueba 3	104
Figura 33. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 3	105
Figura 34. Ubicaciones simuladas en la prueba 3-1	106
Figura 35. Capturas de pantalla de la aplicación para la prueba 3-1 con las ubicaciones simuladas	107
Figura 36. Disposición de los Beacons en la prueba 4	108

Figura 37. Ubicación de los Beacons para la prueba 4	108
Figura 38. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 4	109
Figura 39. Disposición de los Beacons en la prueba 5	110
Figura 40. Ubicación de los Beacons para la prueba 5	111
Figura 41. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 5	111
Figura 42. Disposición de los Beacons en la prueba 6	112
Figura 43. Ubicación de los Beacons para la prueba 6	113
Figura 44. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 6	114
Figura 45. Altura recomendada para ubicar los beacons	115

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Especificaciones técnicas Estimote	128
Anexo B. Especificaciones Técnicas Kontakt.io	128

GLOSARIO

ACK: es un mensaje de confirmación de recepción que el destinatario en el proceso de comunicación envía al origen.

AD-HOC: es un modo o tipo de red que permite la comunicación de los nodos que la conforman de forma directa, es también llamado conjunto de servicios básicos independientes (Independent Basic Service Set, IBBS).

AP: es también conocido como un nodo o estación base, o nodo fijo, y representa un punto de acceso inalámbrico de una red de comunicación (sus siglas en inglés: Access Point).

ARRAY: hace referencia a un conjunto o arreglo de elementos.

BEACON: es un pequeño dispositivo inalámbrico que transmite una señal varias veces por segundo.

BPSK: es una forma modulación de una señal y se realiza por medio del desplazamiento de fase (sus siglas en inglés: Binary Phase Shift key).

CSMA/CA: es un método de control de acceso al medio en redes de área local y es conocido como el método de acceso múltiple por censado de portadora con prevención de colisiones (sus siglas en inglés: Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).

DCF: es una técnica de control de acceso al medio en redes inalámbricas de área local. La Función de coordinación distribuida utiliza el método CSMA/CA.

DIFS: su abreviatura en inglés “DCF Inter Frame Space”, se define como el espacio entre tramas DCF y determina la duración en la que se puede transmitir la trama.

DISTANCIA EUCLÍDEA: la distancia euclídea o métrica euclídeana se trata la distancia entre dos puntos, se basa en el teorema de Pitágoras sobre los

triángulos rectángulos, la distancia euclídea viene a ser la hipotenusa del triángulo recto.¹

L2CAP: es el control de enlace lógico y adaptación de protocolos (sus siglas en inglés: Logical Link Control and Adaptation Protocol), admite la multiplexación de más alto nivel de protocolo, la segmentación de paquetes y re ensamble, y el servicio de calidad de transporte de la información. L2CAP permite protocolos de nivel superior y aplicaciones para transmitir y recibir paquetes de datos de la capa superior.²

MLP: es un tipo de red neuronal. Se denomina perceptrón multicapa y está compuesta por una o varias capas ocultas de red perceptrón simple. (Sus siglas en inglés: Multiple Layer Percetron).

OFDM: la Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (sus siglas en inglés: Orthogonal Frequency Division Multiplexing), es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión el cual envía un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información.³

SIFS: es el espacio entre tramas corto (sus siglas en inglés: Short Inter Frame Space), es un tiempo muy pequeño que requiere un nodo destino para procesar una trama recibida y enviar una respuesta.

¹ Métrica euclideana[en línea]. EcuRed., 2015 [consultado el 08 de enero 2015]. Disponible en: http://www.ecured.cu/index.php/M%C3%A9trica_euclideana

² Logical Link Control and Adaptation Protocol | Bluetooth Development Portal. 2015. *Logical Link Control and Adaptation Protocol | Bluetooth Development Portal*. [en línea]. [Consultado el 08 de enero 2015]. Disponible en: <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/L2CAP.aspx>.

³ SABURIDO, Álvaro. OFDM: multiplexación por división de frecuencias ortogonales [en línea]. Modulo 0 Tutoriales, 2015 [consultado el 08 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.modulo0tutoriales.com/ofdm-multiplexacion-por-division-de/>

INTRODUCCIÓN

Hoy por hoy la tecnología se ha convertido en parte fundamental de las actividades que a diario llevan a cabo las personas como desplazarse de manera informada (waze, google maps), realizar transacciones, solicitar servicios por internet entre otras. Por otra parte los dispositivos móviles como Smartphones y tabletas han ido desplazando los computadores personales y han aparecido una gran cantidad de dispositivos inteligentes disponibles, que en conjunto con el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) permiten generar nuevas aplicaciones y servicios de valor, permeando todo tipo de sectores con los cuales interactúan los ciudadanos como: seguridad, comercio, salud, medio ambiente, turismo, logística, ocio, etc.

El surgimiento de tecnologías hardware cada vez más pequeñas y funcionales, los nuevos paradigmas computacionales como el internet de las cosas, la computación ubicua, las ciudades inteligentes entre otras conllevan a la aparición de nuevas necesidades que igualmente requieren de soluciones innovadoras. Entre estas necesidades se puede destacar la importancia de la localización de personas u objetos como mecanismo indispensable para poder prestar servicios oportunos y pertinentes. La localización a la que se hace mención ya ha sido solucionada en gran medida en espacios abiertos mediante el uso de la tecnología GPS, o el uso de las antenas de telefonía celular. No obstante en espacios cerrados (indoor) los desarrollos aún son incipientes tanto en hardware como en sistemas completos que permitan la localización de personas en estos espacios.

El presente proyecto busca plantear una primera aproximación a la solución de este tipo de problemática estudiando y posteriormente seleccionando alguna de las diferentes alternativas existentes alrededor de la localización indoor desde el punto de vista del hardware y del software involucrado, además del algoritmo y/o estrategia de implementación relacionada con la misma. Igualmente se pretende realizar un prototipo que permita iniciar el estudio de soluciones de ubicación indoor en el marco del concepto de computación ubicua.

El proceso de elaboración de este proyecto está compuesto por 5 etapas principales. Estas se encuentran desarrolladas a lo largo de este documento en el siguiente orden: primera, búsqueda y recopilación de información con relación a la problemática planteada; Segunda, plantear un escenario para la implementación del prototipo; Tercera, determinación de los requerimientos tanto de hardware como de software que permitan satisfacer las condiciones propuestas el escenario planteado; Cuarta, selección e implementación del algoritmo de localización a

emplear; Por último en la quinta fase se llevan a cabo la realización de pruebas del prototipo y ajustes en caso de que sean necesarios.

El resultado final obtenido es un prototipo de un sistema de localización indoor que cuenta con un software y hardware desarrollado que permite la localización de un individuo en un entorno previamente establecido. Futuras extensiones del sistema, podrán ser aplicadas a diferentes ámbitos donde este tipo de localización hará parte de un sistema más robusto con la prestación de una serie de diferentes servicios en lugares como centros hospitalarios, almacenes en grandes centros comerciales, etc.

1. ANTECEDENTES

El desarrollo de sistemas de localización indoor se ha venido trabajando en los últimos años impulsado por el desarrollo de las ciudades inteligentes, sin embargo, al ser una tecnología emergente, hay pocas empresas que actualmente ofrezcan un servicio terminado bajo este concepto.

Actualmente la empresa **Guardly Corp.** de Canadá, (Toronto, Ontario) ofrece entre sus soluciones empresariales un sistema de posicionamiento en interiores, que mejora las soluciones de seguridad actuales de manera que la empresa que adquiere este servicio tendrá la posibilidad de transmitir el edificio (en caso que exista más de uno), piso y sala específica de un llamador de emergencia móvil en menos de 5 segundos, y el seguimiento de los cambios de ubicación indoor en tiempo real a partir de entonces.⁴

La empresa **Google** en las apps de Google Maps para smartphones ofrece la oportunidad a los usuarios de orientarse también en espacios cerrados como aeropuertos o centros comerciales⁵. Por el momento la aplicación llamada **Indoor Maps** solo está disponible a través de la app para **Android** (Google Maps 6.9) y en lugares de Estados Unidos y Japón, como el Aeropuerto Internacional de San Francisco, el centro comercial Mall of América y algunas tiendas de grandes cadenas como IKEA o The Home Depot.⁶ La ubicación se encuentra a través de la triangulación de la posición en interiores a partir del nivel de señal que se recibe desde distintos puntos de acceso Wi-Fi.

El **Grupo NEAT** de Madrid, ha desarrollado un sistema de localización indoor para conocer en qué lugar se encuentran los residentes con deficiencias cognitivas dentro de una residencia o centro asistencial. El sistema consiste en que cada residente porta un brazalete que deja registro a su paso por cada uno de los arcos que se tengan desplegados por el centro. De esta manera, se puede conocer el lugar en el que se encuentra, permitiendo con estos datos analizar determinadas

⁴ Indoor Positioning System (IPS) for Indoor Location Safety | [en línea]. Guardly, 2014 [consultado el 19 de Marzo de 2014]. Disponible en: <https://www.guardly.com/technology/indoor-positioning-system>

⁵ Indoor Maps – About – [en línea]. Google Maps, 2014 [consultado el 19 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/>

⁶ Google Maps indoor para espacios cerrados | TICbeat [en línea]. Google Maps, 2014. [consultado el 19 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://www.ticbeat.com/tecnologias/google-maps-indoor/>

conductas y en función del número de arcos que se hayan instalado, se podrá determinar con mayor exactitud la ubicación del residente.⁷

La empresa **Indoo.rs** N actualmente ubicada en Baja Austria, provee en asociación con StickNFind un sistema de posicionamiento en interiores por medio de un SDK móvil y usando la tecnología StickNFind BLE (Bluetooth Low Energy) sBeacon que en conjunto permiten obtener actualizaciones de posición en el interior, localizar y navegar por el interior de edificios en tiempo real.⁸

La empresa **Broadcom**, uno de los principales fabricantes de circuitos integrados para comunicaciones de banda ancha de los Estados Unidos ha creado un nuevo chip para dispositivos móviles que permite acceder a 4 servicios de localización (GPS, GLONASS, el SBAS y QZSS), además de permitir el uso de los datos de los sensores incorporados en los dispositivos (acelerómetros, brújulas, giroscopios y altímetros). También utiliza otras señales de radiofrecuencia, como Wi-Fi, Bluetooth y NFC. Este producto proporciona un avance para empresas desarrolladoras de servicios relacionados con localización indoor.⁹

Encontramos que en este campo se han realizado una gran variedad de documentos de investigación internacionales, que nos proporcionan una buena cantidad de información pertinente.

“Sistema de localización de personas y recursos para recintos cerrados, basado en wi-fi”, tesis realizada por Rodrigo Felipe Vera Barrera con ayuda del profesor guía Sergio Ochoa Delorenzi y colaboración de la Universidad de Chile en enero 2010, se realizó el diseño e implementación de una aplicación de software que funciona en un dispositivo móvil que permite estimar la posición del usuario de dicho dispositivo dentro de un recinto cerrado. La estimación se hace con base al contraste entre un modelo del espacio cargado en memoria y las señales de Wi-Fi observadas.¹⁰

⁷ Sistema de localización indoor [en línea]. Gruponeat, 2014 [consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://www.gruponeat.com/nuestras-soluciones/tecnologia-sector-ociosanitario/residencias/sistema-de-localizacion-indoor>

⁸ Welcomes StickNFind as partner | Accurate real-time Indoor Localization [en línea]. Indoo.rs, 2014 [consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://indoo.rs/indoo-rs-welcomes-sticknfind-as-partner/>

⁹ Windows Phone [en línea]. Blog de Ilíberi Software & Geografía, 2014 [consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://iliberi.com/blog/category/windows-phone/>

¹⁰ VERA BARRERA, Rodrigo Felipe Sistema de localización de personas y recursos para recintos cerrados, basado en Wi-Fi [en línea]. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Computación. Chile: Universidad de Chile, 2010 [consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-vera_rb/html/index-frames.html

“Sistema de localización en redes wi-fi basado en fingerprint”, este proyecto es realizado por M^a Ángeles Núñez Sobrino con ayuda de su tutor Julio Villena Román y colaboración de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, se aprovechó la tecnología Wi-Fi para desarrollar un sistema de localización cuya función es ubicar a un dispositivo móvil conectado a una red basada en el estándar 802.11. Con la utilización de la técnica Fingerprint que consiste en la comparación de las señales recibidas en la posición actual que se quiere determinar con las mediciones de las señales recibidas obtenidas previamente de la zona cubierta por el sistema, con base a la fase denominada off-line y la fase real-time se calcula la distancia más corta que corresponderá al dispositivo que se encuentra más próximo al dispositivo a localizar, y como consecuencia, éste adoptará la ubicación del dispositivo más cercano.¹¹

“Sistema de localización de objetos en espacios cerrados por medio de RF”, tesis realizada por Miguel Ángel Alonso Ríos con ayuda de M.I. Juventino Cuellar González y colaboración de la Universidad Nacional Autónoma de México en el año 2012. Se lleva a cabo el diseño e implementación de un sistema de localización y monitoreo de objetos en espacios cerrados empleando señales de radiofrecuencia que se basan en la tecnología ZigBee.¹²

¹¹ NÚÑEZ SOBRINO, M^a Ángeles y VILLENA ROMÁN, Julio. Sistema de localización en redes wi-fi basado en fingerprint [en línea]. Ingeniera técnica: sistemas de Telecomunicación Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, [consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11912/PFC_MAngeles_Nunez_Sobrino.pdf?sequence=1

¹² Sistema de localización de objetos en espacios cerrados por medio de RF 2014 [en línea]. Universidad autónoma de México, [Consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2560/Tesis%20Completa.pdf?sequence=1>

2. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Actualmente el problema de la localización en exteriores se encuentra solucionado en gran parte gracias al uso de la tecnología GPS (Global Positioning System), que en conjunto con otro tipo de redes inalámbricas (red de telefonía celular) permiten determinar con un alto grado de precisión la ubicación de cualquier dispositivo que cuente con dicha tecnología. El problema radica en el momento en que se desee determinar la localización en espacios cerrados, debido a que la señal del GPS se deteriora en ambientes en donde haya objetos u obstáculos que intervienen en la línea de visión directa hacia el dispositivo a ubicar especialmente elementos como metal o concreto.

De esta manera entonces se realiza el planteamiento del siguiente problema con el cual se regirá el desarrollo de este proyecto:

“No existe un prototipo funcional de un sistema de localización indoor que permita la experimentación en sistemas de computación ubicua en la UAO”.

3. JUSTIFICACIÓN

El creciente uso y desarrollo de las tecnologías de información y la comunicación (TIC) en los últimos años, ha planteado un nuevo concepto de las ciudades denominado ciudades inteligentes (Smart City) teniendo como ejes principales la movilidad urbana, la eficiencia energética, la mejora tanto en la calidad de los servicios prestados como en la información suministrada a los ciudadanos, permitiendo así una mejor calidad de vida. Desde este punto de vista este proyecto pretende aportar una infraestructura de localización indoor que permita servir como infraestructura básica para la prestación de servicios en este tipo de ambientes.

Con base en lo anterior se podrán prestar servicios innovadores que permitirán por ejemplo:

- Economizar energía en función de la detección o no de personas en un espacio específico apagando equipos innecesarios bajo estas circunstancias.
- Riego automático de zonas verdes empleando la cantidad de agua necesaria por medio de la detección de la humedad y las condiciones climáticas a las que se encuentran sometidas.
- Reducción de los niveles de tráfico en la ciudad gracias a un monitoreo constante de las vías permitiendo un mejor funcionamiento de los semáforos.
- Ofrecer información basada en el contexto en que se encuentra el usuario como la publicidad en diferentes tiendas de centros comerciales.

Teniendo en cuenta que para ofrecer servicios oportunos y pertinentes acordes a las necesidades de los usuarios es importante poder localizarlos tanto en espacios exteriores como en interiores (requisitos importantes tanto para la implementación del concepto de ciudad inteligente como para el de computación ubicua) y dado que la localización outdoor ha sido bastante estudiada y ya no es problema fundamental, se torna imprescindible apropiarse los conceptos y tecnologías asociadas con localización indoor lo cual será abordado en el contexto de este proyecto.

Se considera que el desarrollo de este proyecto aportará de manera primaria a la consolidación de líneas de desarrollo de grupos de investigación de la Universidad Autónoma de Occidente que estén permeados por estas temáticas (como GITI, Gitcod), también a proyectos institucionales como Expin Medialab y como plataforma para el desarrollo posterior de soluciones basadas en conceptos como computación ubicua, internet de las cosas y de una manera más amplia al de ciudades inteligentes.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un prototipo de un sistema de localización indoor que permita determinar la posición de un elemento dinámico en un área específica.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar un escenario para el desarrollo de un prototipo de localización indoor.
- Seleccionar el hardware necesario que permita el desarrollo de un prototipo de localización indoor.
- Seleccionar un algoritmo existente adecuado para la localización en espacios cerrados e implementarlo.
- Determinar una técnica existente de digitalización de espacios físicos para su uso posterior por parte del sistema de localización indoor.
- Desarrollar una aplicación móvil que permita la localización indoor de personas en un área específica.
- Desarrollar un prototipo de localización indoor para el espacio físico seleccionado.

5. MARCO TEÓRICO

A continuación se definen el conjunto de conceptos principales que se deben tener en cuenta para la contextualización de este proyecto, desde un marco general a un específico.

5.1 CIUDAD INTELIGENTE

En términos generales, una ciudad inteligente es aquella ciudad que: “es capaz de responder adecuadamente a las necesidades básicas de instituciones, empresas, y de los propios habitantes, tanto en el plano económico, como en los aspectos operativos, sociales y ambientales.”¹³

El desarrollo de una ciudad inteligente está basado en la adaptación de manera intensiva de las diferentes tecnologías de la información y la comunicación (TIC). De esta manera, debe haber un sistema capaz de recolectar información de un gran número de variables generadas en la ciudad, y a partir de los datos recogidos proceder a tomar decisiones de manera autónoma, optimizando los recursos disponibles y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.¹⁴

5.2 COMPUTACIÓN UBICUA

El concepto de computación ubicua también denominada computación pervasiva, fue una propuesta de Mark Weiser en 1991, director de tecnología del laboratorio Xerox PARC.

Para definir computación ubicua el señor Mark Weiser hace referencia a dos aproximaciones de lo que debería ser¹⁵:

¹³ Ciudad inteligente. Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea]. Florida: Wikimedia, 2014. [consultado el 25 de Marzo de 2014]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_inteligente

¹⁴ .Ciudades inteligentes: Bases de un modelo de medición de la inteligencia de la ciudad 2015. [en línea]. Disponible en: <http://cintel.org.co/wp-content/uploads/2013/06/ciudades-inteligentes.pdf> [consultado el 13 de enero de 2015].

¹⁵ Ubiquitous Computing [en línea]. 2015 [consultado el 13 de enero de 2015]. Disponible en: <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>

5.2.1 Primera aproximación

Inspirado por sociólogos, filósofos y antropólogos en PARC, hemos tratado de tomar una mirada radical en como la computación y su interconexión debería ser. Creemos que las personas viven a través de la experiencia y su conocimiento tácito, por eso las cosas más poderosas son las que son invisibles para el usuario. Este es un reto que afecta a toda la ciencia de la computación. Nuestro enfoque preliminar: Activar al mundo. Proporcionar cientos de dispositivos inalámbricos por persona, por oficina, en todas las escalas (desde pantallas de una pulgada al tamaño de una pared). Esto ha requerido trabajar de nuevo en sistemas operativos, interfaces de usuario, redes inalámbricas, pantallas (displays) y muchas otras áreas. Llamamos a nuestro trabajo “computación ubicua”. Esto es diferente de los PDAs, dynabooks (laptop), o información en la punta de los dedos. Esto es invisible, computación en todos lados que no vive en un dispositivo personal de ningún tipo, pero está en todos lados¹⁶.

5.2.2 Segunda aproximación. Durante treinta años la mayoría del diseño de interfaces y computadoras ha seguido la línea de la maquina “espectacular”. Su gran ideal era crear una computadora tan excitante, tan maravillosa, tan interesante, que nunca pensaríamos estar sin ella. Un camino menos transitado lo llamo “invisible”, su más alto ideal es crear computadoras tan integradas, tan adaptables, tan naturales, que lo usemos sin siquiera pensar en ello. (También llame a esta noción, “computación ubicua”, y puse sus orígenes en el post-modernismo). Creo que en los próximos 20 años el segundo camino llegará a dominar. Pero esto no va a ser fácil, muy poco de nuestra infraestructura de los sistemas actuales va a permanecer. Hemos estado desarrollando versiones de la infraestructura-del-futuro en PARC durante los últimos cuatro años, en formatos de pulgadas, pies y yardas que llamamos Tabs, Pads y Boards. Nuestros prototipos a veces han tenido éxito, pero la mayoría de las veces han fallado en ser invisibles. Por lo que hemos aprendido, ahora estamos explorando nuevas direcciones para la ubicomp (Computación ubicua).

De acuerdo a las aproximaciones anteriores de Mark Weiser se puede determinar que aún no se ha llegado al momento donde los dispositivos electrónicos que nos rodean sean invisibles que eran el ideal de Weiser, pero si gracias a toda la tecnología se ha logrado que cada día que pasa las actividades de la vida cotidiana se encuentren más embebidas de dispositivos que permiten la comunicación tanto entre ellos como también hacia el internet ofreciendo una gran variedad de servicios útiles para su realización, sin embargo no dejan de ser vistos como una herramienta.

¹⁶ Ibíd.,

5.3 IMPORTANCIA DE LA LOCALIZACIÓN

Es importante para el funcionamiento de una ciudad inteligente conocer la localización de los elementos involucrados internamente, ya sea para la solución de un problema, para la adecuación del ambiente o para la prestación de un servicio tanto outdoor como indoor, con el objetivo de satisfacer necesidades de algún habitante específico (concepto de computación ubicua). Por esto es necesario disponer de una localización tanto outdoor como indoor que se complementen de manera efectiva y presenten un alto nivel de precisión.¹⁷ Por esta razón se han implementado diferentes métodos de localización actualmente funcionando que hasta ahora han permitido los primeros desarrollos a nivel de ciudades inteligentes principalmente en espacios abiertos.

5.3.1 Localización outdoor. La localización outdoor está altamente ligada al sistema de posicionamiento global, debido a que es su principal herramienta para llevar a cabo su función. Actualmente, este tipo de localización se encuentra implementado en la mayor parte de los dispositivos que se usan en el día a día, como lo son Smartphone, automóviles, entre otros. Siendo capaz de proporcionar la ubicación exacta del usuario, siempre y cuando este tenga la intensidad de señal necesaria para aplicar el algoritmo de triangulación, y de esta forma retornar una serie de datos que serán interpretados por el emisor de tal forma que se obtenga una ubicación precisa.

5.3.2 Localización indoor. La localización indoor se entiende como el proceso por medio del cual se determina la ubicación de una persona u objeto en un espacio interior, teniendo como restricción que no se puede hacer uso de la señal de posicionamiento global.

Actualmente, este tipo de localización se encuentra en desarrollo, por lo que no se ha definido un protocolo estándar para su implementación. Debido a esto, encuentran desarrollos a partir de tecnologías inalámbricas como: WLAN, zigBEE, Bluetooth, RF, ultrasonido, o protocolos menos estandarizados. A continuación se definen de manera independiente diferentes tecnologías de transmisión inalámbrica que podrían ser usadas como medios de localización indoor en el marco de este proyecto.

5.4 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

¹⁷ Ciudades Inteligentes [en línea]. CINTEL, 2014. [consultado el 23 de Marzo de 2014]. Disponible en: <http://cintel.org.co/innovacion/ciudades-inteligentes/>

En esta sección se realizará la explicación de las diferentes tecnologías inalámbricas que se pueden utilizar en un sistema de localización indoor.

5.4.1 Infrarrojos (Ir). “El infrarrojo es radiación electromagnética compuesta por una longitud de onda mayor que la luz visible, pero menor que la microondas”¹⁸.

IrDA (Infrared Data Association). Es denominada la asociación de datos por infrarrojos, esta organización es patrocinada por la industria y creada en 1993, se encarga de establecer los estándares internacionales para equipos y programas usados en los enlaces de comunicación por infrarrojos. Actualmente, las especificaciones IrDA definen el protocolo de comunicaciones para muchas de las aplicaciones por infrarrojos.¹⁹

La comunicación infrarroja involucra un transceptor (una combinación de transmisor y receptor) en los dos dispositivos que se comunican. Hay microchips especiales que proporcionan esta capacidad. Además, uno o ambos dispositivos pueden requerir software especial para que la comunicación pueda sincronizarse. La comunicación por IR también puede usarse para interconexiones más largas y es una posibilidad para las interconexiones en redes de área local (LAN). Dado que la IR es transmisión en línea visual, es sensible a la niebla y otras condiciones atmosféricas. Actualmente encontramos esta tecnología montada en prácticamente la mayoría de los ordenadores portátiles, móviles, cámaras digitales y otros cientos de dispositivos. Y para cubrir todas las necesidades del mercado, encontramos dos aplicaciones distintas: IrDA–Data e IrDA–Control.

La primera de ellas, IrDA–Data, permite la comunicación bidireccional entre dos extremos a velocidades que oscilan entre los 9.600 bps y los 4 Mbps. Esta oscilación depende del tipo de transmisión (síncrona o asíncrona), la calidad del controlador que maneja los puertos infrarrojos, el tipo de dispositivo y por supuesto, la distancia que separa ambos extremos.

El otro tipo de puerto infrarrojo, el IrDA–Control se ha ideado para conectar periféricos de control como teclados, ratones, dispositivos apuntadores o joysticks a una estación fija, dígame un PC, una consola de videojuegos o un televisor. Sin embargo, las diferencias son notables, ya que la distancia

¹⁸ El espectro electromagnético y sus aplicaciones [en línea]. Sabe.ula, 2015 [consultado el 05 De enero 2015]. Disponible en: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16746/1/espectro_electromagnetico.pdf

¹⁹ Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks [en línea]. Fundación Orange, 2015 [consultado el 05 De enero 2015]. Disponible en: <http://fundacionorange.es/areas/historico/pdf/3.pdf>

máxima se amplía hasta garantizar un mínimo de 5 metros. La velocidad de transmisión, algo que no es crítico para el tipo de productos al que se dirige, alcanza 75 Kbps. Y como ocurría en el caso anterior, para que esto sea posible, cuenta con tres protocolos que establecen la comunicación: PHY (Physical Signaling Layer) vuelve a marcar la velocidad y distancia de transmisión, mientras que MAC (Media Access Control) es el responsable de proporcionar soporte hasta ocho dispositivos simultáneos conectados al mismo receptor. Finalmente tenemos LLC (Logical Link Control), que realiza ciertas funciones de seguridad y retransmisiones en caso de que el envío de información haya fracasado.

Una característica importante de esta técnica de comunicación es su seguridad: Como el infrarrojo, es parte del espectro de luz, no atraviesa paredes. Y como la mayor parte de los dispositivos que incorporan IrDA, tienen un radio de funcionamiento corto, esto significa que cualquier dato que sea intercambiado vía IR, ya sea a una red, a otro ordenador o a una impresora, es seguro. IR, es más seguro que las señales de radio, que pueden ser interceptadas por otros dispositivos de radio.²⁰

5.4.2 Bluetooth

Es una tecnología inalámbrica de onda de radio de corto alcance que opera en la banda de frecuencia ISM (Industrial, Científica y Médica), que no requiere licencia y que se encuentra concretamente entre 2.4 Ghz y 2.485 Ghz. Bluetooth es el nombre común de la especificación de IEEE 802.15.1, que define un estándar global de transmisión de información (voz y datos) inalámbrico entre diferentes dispositivos, a través de un enlace de radiofrecuencia seguro y sin licencia de corto rango.²¹

El estándar Bluetooth utiliza la técnica FHSS que consiste en dividir la banda de frecuencias de 2.402 a – 2.480 GHz en 79 canales de 1Mbps. Y posteriormente transmite la señal utilizando una secuencia de canales conocidos por ambos extremos de la comunicación. Al cambiar de canal 1600 veces por segundo, permite evitar las interferencias de las otras señales que trabajan en su mismo rango. La red Bluetooth que se forma al conectarse dos dispositivos Bluetooth y aquellos que se encuentren dentro de un rango, se denomina piconet. El modo de operación en el que se basa es maestro/esclavo. El proceso que tienen que seguir dos usuarios que quieran iniciar una comunicación Bluetooth es el siguiente²²:

²⁰ Ibíd., Disponible en Internet: <http://fundacionorange.es/areas/historico/pdf/3.pdf>

²¹ English home [en línea]. Bluetooth.org, 2015 [consultado el 06 De enero 2015]. Disponible en: <https://www.bluetooth.org/en-us>

²² NÚÑEZ SOBRINO, y VILLENA ROMÁN, Op. cit. Disponible en Internet: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11912/PFC_MAngeles_Nunez_Sobrinio.pdf?sequence=1

- Durante el tiempo en el que el usuario no quiere iniciar ninguna comunicación Bluetooth, el dispositivo se encuentra en modo pasivo, donde sólo escucha la red.
- El establecimiento de una conexión bluetooth, comienza con la fase de solicitud, en el que el maestro envía una petición a todos los usuarios que se encuentran en su mismo rango, denominados puntos de acceso. Los dispositivos que reciben la solicitud, responden con su dirección. A continuación, el maestro sincroniza su reloj y frecuencia con el punto de acceso que ha elegido. Esta técnica se llama paginación.
- Así, se establece un enlace entre el maestro y el punto de acceso. A continuación, se inicia el proceso de descubrimiento del servicio a través del protocolo SDP (Session Description Protocol), que determina los servicios Bluetooth disponibles y sus características en el dispositivo esclavo.
- Una vez finalizada esta fase, el maestro crea un canal de comunicación con el punto de acceso esclavo, mediante el protocolo L2CAP.
- Algunos puntos de acceso pueden incluir el mecanismo de seguridad conocido como emparejamiento. El dispositivo esclavo envía al maestro una petición de emparejamiento y éste último tiene que escribir la clave, denominada PIN, del punto de acceso transmisor. Si la clave es correcta, se realiza la conexión.

5.4.2.1 Bluetooth 4.0 (BLE). El Bluetooth de baja energía (en inglés, Bluetooth Low Energy) o también denominado Bluetooth Smart es un estándar abierto desarrollado por Bluetooth SIG. Está diseñado para atender las necesidades de las nuevas aplicaciones inalámbricas, como el ultra-bajo consumo de energía, los tiempos de conexión rápida, confiabilidad y seguridad. *Bluetooth* baja energía consume de 10 a 20 veces menos energía que su versión anterior y es capaz de transmitir datos 50 veces más rápido que las soluciones convencionales de *Bluetooth*.²³

Los detalles técnicos que caracterizan esta versión de Bluetooth son:

²³ Bluetooth 4.0 Modules [en línea]. Bluegiga, 2015. [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <https://www.bluegiga.com/en-US/products/bluetooth-4.0-modules/>

- La transferencia de datos - admite paquetes de datos muy cortos (mínimo 8 octetos hasta 27 octetos máximo) que se transfieren a 1 Mbps.
- Salto de frecuencia - utiliza el salto de frecuencia adaptable comunes a todas las versiones de la tecnología Bluetooth para minimizar la interferencia de otras tecnologías en el 2,4 GHz ISM Band. Beneficios de varias rutas eficientes aumentan los presupuestos de enlace y gama.
- Host de control - coloca una cantidad significativa de la inteligencia en el controlador, que permite al huésped dormir durante períodos más largos de tiempo y ser despertado por el controlador sólo cuando el huésped necesita realizar alguna acción. Esto permite un gran ahorro de corriente como se supone que el anfitrión debe consumir más energía que el controlador.
- Latencia - puede soportar una configuración de conexión y transferencia de datos tan baja como 3 ms, lo que permite a una aplicación formar una conexión y luego transferir datos autenticados en pocos milisegundos, es decir, durante un corto periodo de comunicación antes de que la conexión se destruya.
- Rango – el aumento del índice de modulación proporciona un posible rango de más de 100 metros.
- Robustez - utiliza una sólida verificación por redundancia cíclica (CRC) de 24 bits en todos los paquetes que garantizan la máxima robustez frente a interferencias.
- Fuerte de Seguridad – cifrado completo AES-128 (Advanced Encryption Standart) usando CCM (Counter Mode CBC-MAC) para proporcionar una fuerte encriptación y autenticación de paquetes de datos.
- Topología - utiliza una dirección de acceso de 32 bits en cada paquete para cada esclavo, permitiendo miles de millones de dispositivos conectados. La tecnología está optimizada para conexiones uno-a-uno al

tiempo que permite conexiones de uno a muchos utilizando una topología en estrella.

La manera en que esta tecnología es implementada para aplicaciones relacionadas con localización es por medio de dispositivos llamados beacons²⁴.

5.4.2.2 Beacons. Los Beacons son pequeños dispositivos inalámbricos que emiten señales de radio de corto alcance alrededor del espacio físico en el que se encuentran. Están basados en la tecnología Bluetooth Low Energy (BLE) o Bluetooth Smart, esto hace posible que tengan una gran autonomía sin realizar mantenimiento.²⁵

5.4.3 WIFI

Es una red de área local inalámbrica (en inglés Wireless Local Area Network), este sistema proporciona una conexión sin cables ni alambres y a los usuarios un acceso fácil y cómodo a documentos, correo electrónico, aplicaciones y otros recursos de la red, para que puedan desplazarse a cualquier lugar al utilizar las ondas de radio para permitir a los dispositivos móviles conectarse y comunicarse dentro de una zona determinada.²⁶

Se utilizan ondas de radio para llevar la información de un punto a otro sin necesidad de un medio físico guiado. Al hablar de ondas de radio nos referimos normalmente a portadoras de radio, sobre las que viaja la información, ya que realizan la función de llevar la energía a un receptor remoto. Los datos a transmitir se superponen a la portadora de radio y de este modo pueden ser extraídos exactamente en el receptor final. A este proceso se le llama modulación de la portadora por la información que está siendo transmitida. Si las ondas son transmitidas a distintas frecuencias de radio, varias portadoras pueden existir en igual tiempo y espacio sin interferir entre ellas. Para extraer los datos el receptor se sitúa en una determinada frecuencia, frecuencia portadora, ignorando el resto. En una configuración típica de LAN (con cable) los puntos de acceso (transceiver) conectan la red cableada de un lugar fijo mediante cableado normalizado. El punto de acceso recibe la información, la almacena y la transmite entre la WLAN y la LAN cableada. Un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un rango de al menos treinta metros y hasta

²⁴ Bluetooth low energy [en línea]. Bluetooth Technology Website, 2015 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://www.bluetooth.com/Pages/low-energy-tech-info.aspx>

²⁵ Beacons [en línea]: La comunicación inteligente. Geomobile "your mobile partner", 2015. [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.geomobile.es/idi-beacons.php>

²⁶ Red LAN inalámbrica [en línea]. Cisco Systems. 2015. Disponible en: http://www.cisco.com/web/ES/solutions/es/wireless_lan/index.html

varios cientos. El punto de acceso (o la antena conectada al punto de acceso) es normalmente colocado en alto pero podría colocarse en cualquier lugar en que se obtenga la cobertura de radio deseada. El usuario final accede a la red WLAN a través de adaptadores. Estos proporcionan una interfaz entre el sistema de operación de red del cliente (NOS: Network Operating System) y las ondas, mediante una antena.²⁷

5.4.3.1 Arquitectura. El estándar IEEE 802.11 define el concepto de Conjunto Básico de Servicio (BSS, Basic Service Set) que consiste en dos o más nodos inalámbricos o estaciones que se reconocen una a la otra y pueden transmitir información entre ellos. Un BSS puede intercambiar información de dos modos diferentes²⁸:

- Cada nodo se comunica con el otro en forma directa y sin ninguna coordinación. Este modo es comúnmente llamado Ad-Hoc o IBSS (Independent Basic Service Set). Este modo solo permite la transmisión entre los nodos inalámbricos y no resuelve el problema de extender una LAN cableada.
- Existe un elemento llamado comúnmente AP (Access Point) que coordina la transmisión entre los nodos inalámbricos. Este modo es llamado modo Infraestructura y permite vincular la red inalámbrica con la red cableada ya que el AP actúa como bridge entre las dos redes. La existencia de varios AP conectados a un sistema de distribución (DS: Distribution System), que puede ser una LAN cableada es lo que denominamos EBSS (Extended Basic Service Set). La tecnología 802.11 permite el roaming entre los distintos AP.

La capa Física en 802.11- La capa física de la especificación IEEE 802.11 ofrece dos tipos de técnicas para las transmisiones en frecuencias de radio y una especificación para transmisiones infrarrojas. Las técnicas de radio frecuencia trabajan basadas en el concepto de “Espectro Ensanchado” o Spread Spectrum (SS). Este concepto se basa en un ensanchamiento forzado del espectro de ancho de banda usando una función XOR con una secuencia Numérica Pseudo Randómica larga, esto disminuye la densidad de potencia espectral y reduce la potencia de pico. La potencia total transmitida no varía pero la señal se hace

²⁷ Red de área local inalámbrica. Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea]. Florida: Wikimedia, 2015 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_%C3%A1rea_local_inal%C3%A1mbrica

²⁸ JARA WERCHAU, Pablo y NAZAR, Patricia. Estándar IEEE 802.11 X de las WLAN [en línea]. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2009 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/standard_802_11.pdf.

mucho más inmune a las interferencias y al ruido ambiente. Las dos técnicas previstas en la norma 802.11 son:

- Salto de Frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS): Es la forma más simple de modulación de espectro ensanchado, normalmente la mayoría de los sistemas de salto de frecuencia definen un conjunto de saltos uniformes dentro de una banda de frecuencia aunque esto no es absolutamente necesario ya que ambos extremos de la transmisión conocen de antemano el patrón de salto de frecuencias utilizado. Esta técnica consigue una alta inmunidad a las interferencias y al ruido ambiente, sobre todo cuando usa patrones aleatorios de salto de frecuencia. La desventaja de esta técnica es que solo se ha desarrollado en el mercado para velocidades que no superan los 2 Mbps. Existen 75 subcanales de 1 MHz que permiten definir secuencias de saltos que no se solapan entre sí.
- Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS): En la técnica de secuencia directa se usa un código de pseudo-ruido generado localmente para codificar la señal digital a transmitir. Este código se ejecuta a frecuencias varias veces más altas que la frecuencia de la señal.

Si ejecutamos una función X-OR con la señal, obtenemos una señal codificada que luego será modulada usando BPSK (Binary Phase Shift Key) antes de ser transmitida. Esta señal, al ser recibida en el otro extremo, es decodificada usando una réplica local del código de pseudo-ruido usado en el emisor. De este modo, el receptor solo decodificará la señal que esté codificada con un código determinado, resultando en un filtro natural para las interferencias y señales espurias. Las técnicas no son interoperables entre sí.

En cualquiera de los dos casos, las señales de Espectro Ensanchado (SS) se convierten en señales que tienen una baja probabilidad de interferencia con señales de espectro estrecho debido a que la energía es extendida en un ancho de banda que puede ser 100 veces el ancho de banda de la señal a transmitir.

Este tipo de modulación es exigida por la FCC de los EEUU y por la mayoría de los entes regulatorios de los países para utilizar las bandas de frecuencias libres llamadas ISM (Industrial, Scientific and Medical) que operan entre los 2.400 GHz y los 2.483 GHz y también entre los 5.725 y los 5.875 GHz.

Para lograr velocidades de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps, es necesario un AB de alrededor de 20 MHz por canal por lo que se debe entender que la norma 802.11 tiene solamente 3 canales no solapados en la banda ISM de 2.4 GHz.

En los sistemas de secuencia directa (DS), es necesario compensar el ruido que se introduce en cada canal debido a su ancho de banda, para ello cada bit de datos se convierte en una serie de patrones de bits redundantes llamados "chips". La redundancia que presenta cada chip combinada con el ensanchamiento de la señal a través de los 20 MHz provee un mecanismo solido de detección y corrección de errores, minimizando las retransmisiones.

La capa de Enlace en 802.11. La capa de enlace de datos en 802.11 consiste en dos subcapas:

- Capa de Control lógico de Enlace, o Logical Link Control (LLC): Esta capa es exactamente igual a la capa LLC utilizada por las redes cableadas del tipo 802.3 con un sistema de direccionamiento de 48 bits idéntico (MAC Address). Esto permite simplificar al extremo los puentes (bridges) entre los dos tipos de red.
- Capa de Control de Acceso al Medio o Media Access Control (MAC) o capa de Acceso Múltiple: El método de acceso múltiple en IEEE 802.11 es la llamada Función de Distribución Coordinada (Distributed Coordination Function, DCF) que utiliza el conocido método de Acceso Múltiple por Censado de Portadora con Prevención de Colisiones, (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance, CSMA/CA). Este método requiere que cada nodo inalámbrico escuche el medio compartido para saber si otros nodos se encuentran transmitiendo. Si el canal está desocupado, el nodo puede transmitir, caso contrario, el nodo escucha hasta que la transmisión finalice, y entra en un período de espera aleatorio para luego volver a ejecutar el procedimiento. Esto previene que algunas estaciones monopolicen el canal al comenzar a transmitir inmediatamente después que termine la otra.

La recepción de los paquetes en el DCF requiere de confirmaciones por parte del destino. Hay un corto período de tiempo entre el envío del ACK por parte del destinatario llamado Short Inter Frame Space, SIFS. En 802.11, los paquetes de confirmación ACK tiene prioridad frente a cualquier otro tráfico, logrando una de las características sobresalientes que es la gran velocidad de las confirmaciones. Cualquier transmisión distinta a un ACK deberá esperar por lo menos un DIFS (DCF Inter Frame Space) antes de transmitir algún dato. Si el transmisor detecta un medio ocupado nuevamente, vuelve al tiempo de BackOff pero reduciendo el

tiempo de espera. Así se repetirá hasta que el tiempo de espera llegue a CERO donde se habilita al nodo a transmitir, luego de que termine la próxima transmisión.

5.4.3.2 ZigBee

Es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, se basa en el estándar 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN) definido por el IEEE donde se especifica el hardware y software de la capa física (PHY) y MAC. Tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.²⁹

En primera instancia se describen tres tipos distintos de dispositivos ZigBee según el rol que lleven a cabo en la red:

- **Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC):** Debe existir uno por red. Sus funciones son las de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, requiere memoria y capacidad de computación.
- **Router ZigBee (ZigBee Router, ZR):** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- **Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED):** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con el coordinador o un router, pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. Requiere un mínimo de memoria y es significativamente más barato.

Si nos basamos en su funcionalidad, se plantea la siguiente clasificación:

- **Dispositivo de funcionalidad completa (FFD):** También conocidos como nodo activo. Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como ZC o ZR, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interfaces con los usuarios.

²⁹ GUERRA, Lenin Eduardo. Diseño e implementación de un prototipo para la localización de un objeto en movimiento mediante zigbee [en línea]. Tesis de grado Ingeniero Electrónico y de computación. Escuela Superior Tecnológica de Chimborazo, 2010 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/374/1/38T00183.pdf>

- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): También conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas con el objetivo de conseguir un bajo costo y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red. Un nodo ZigBee (tanto activo como pasivo) reduce su consumo gracias a que puede permanecer dormido la mayor parte del tiempo. Cuando se requiere su uso, el nodo ZigBee es capaz de despertar en un tiempo muy pequeño, para volverse a dormir cuando deje de ser requerido. Un nodo cualquiera despierta en aproximadamente 15 ms.³⁰

5.5 MÉTRICAS DE LA SEÑAL

Las métricas son características cuantificables de la señal que permiten determinar información relevante de manera que mediante cálculos matemáticos se pueden hallar parámetros como la distancia entre el nodo emisor y receptor

5.5.1 TOA (Time Of Arrival)

5.5.1.1 Definición. Esta técnica consiste en el cálculo de la distancia aproximada que existe entre un emisor y un receptor basada en la estimación del tiempo invertido por la señal en viajar desde un punto inicial al final.

³⁰ Sistemas de transmisión [en línea]. Zigbee, 2014. [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>

5.5.1.2 Método de estimación TOA.

5.5.2 TDOA (Time Difference Of Arrival)

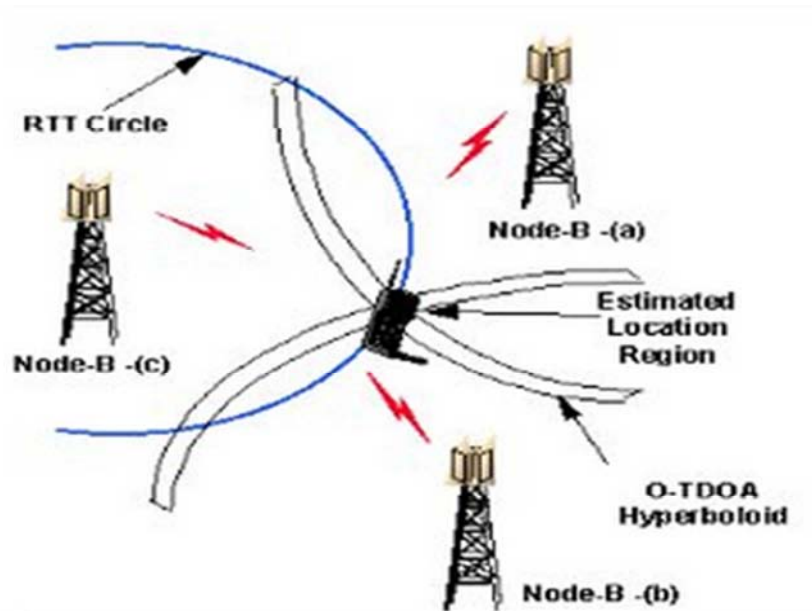
5.5.2.1 Definición. Esta técnica permite determinar la posición de un dispositivo o nodo móvil con respecto a la diferencia que existe entre los tiempos de llegada de la señal procedente del mismo nodo móvil a distintos pares de nodos fijos o el tiempo de llegada de la señal emitida por los nodos fijos al nodo móvil, en el caso de que la localización esté asistida por terminal.³¹

5.5.2.2 Método de estimación TDOA. En este método se distinguen dos opciones a la hora de resolver el problema. En primer lugar está lo que se conoce como sistemas network-based donde el dispositivo móvil transmite una señal que es recibida por varios nodos base, la diferencia en el tiempo se calcula en función del tiempo de arribo a cada nodo base. Por otra parte existen los sistemas mobile-based donde el dispositivo móvil calcula la diferencia de las medidas del tiempo de arribo de la señal de los nodos base agrupados de a pares. En ambos casos, la diferencia en el tiempo de arribo de dos nodos base define una hipérbola en el plano donde el dispositivo móvil va a estar ubicado. Luego, la intersección de dos de estas hipérbolas da como resultado su ubicación, en la figura 1 podemos observar el método de estimación TDOA con tres nodos o estaciones base.³²

³¹ Tecnologías y servicios para la sociedad de la información [en línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2005 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Organos%20de%20Gobierno/Consejo%20Social/Actividades/tecnologias_servicios_para_sociedad_informacion.pdf

³² Kalman Tracking para peatones basados en TOA para sistemas móviles celulares [en línea]. 2015. [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://www.fing.edu.uy/iie/ense/asign/tes/materiales/monografias/KalmanTracking.pdf>

Figura 1. Método de estimación TDOA



Fuente: Geoposicionamiento GSM independiente de la red móvil [en línea]. Kriptópolis, 2015 [consultado el 10 Enero 2015]. Disponible en: <http://www.kriptopolis.com/geoposicionamiento-gsm-7>.

5.5.3 AOA (Angle Of Arrival)

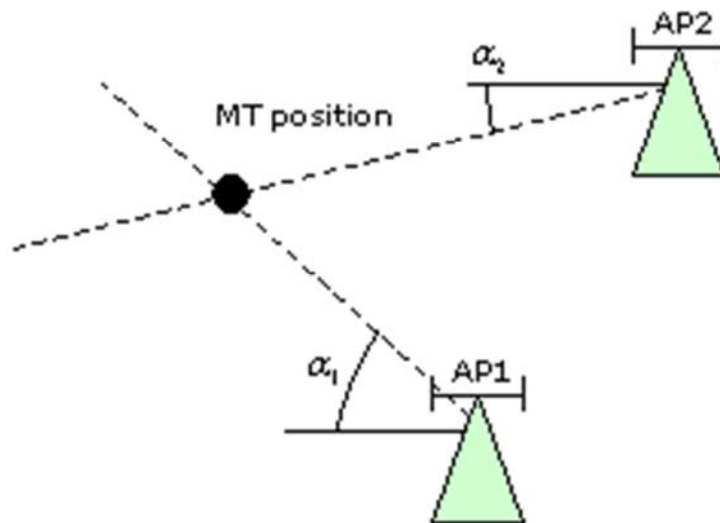
5.5.3.1 Definición.

Esta técnica calcula la localización del nodo móvil por medio de un conjunto de antenas para determinar el ángulo de la señal incidente. Para obtener la ubicación del nodo móvil es necesaria al menos una segunda evaluación del ángulo procedente de otra antena. Esta segunda antena localizará al terminal, y sus datos se compararán con los de la primera, para después calcular la posición del nodo móvil mediante trigonometría.³³

³³ MARTÍNEZ GUASHIMA, Oswaldo Geovanny. Localización Indoor Multimodal [en línea]. Tesis Máster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2013 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33038/Memoria_Martinez_Oswaldo.pdf?sequence=1

5.5.3.2 Método de estimación AOA. Este método calcula la localización del nodo móvil midiendo el ángulo de llegada de una señal que procede del mismo nodo móvil, en diferentes nodos base, mediante el uso de arrays de antenas. O al revés mide el ángulo de llegada de la señal, procedente de un nodo base en el móvil. En cada caso una sola medida produce una línea recta desde el nodo base al móvil. Otra medida AOA proporciona una segunda línea recta y la intersección de ambas establece la localización del móvil, en la figura 2 podemos observar el método de estimación AOA con dos nodos base o Access Point (AP) y la posición del nodo o terminal móvil (MT) donde se encuentra la intersección de las dos rectas generadas por la estimación.³⁴

Figura 2. Método de estimación AOA



Fuente: Radio localization of mobile terminals in wireless networks [en línea]. DSP, 2007. [consultado el 10 enero 2015]. Disponible en: <http://risorse.dei.polimi.it/dsp/tlc/position.htm>.

5.5.4 RSSI (Receive Signal Strength Indication)

³⁴Análisis de las técnicas de localización y posicionamiento en los sistemas de telecomunicaciones [en línea]. México: Itaso, 2015 [consultado el 10 enero 2015]. Disponible en Internet: [http://www.itsao.edu.mx/default/Revista/Publicaciones/Survey%20Tecnologias\(ITS AO\).pdf](http://www.itsao.edu.mx/default/Revista/Publicaciones/Survey%20Tecnologias(ITS AO).pdf)

5.5.4.1 Definición. En esta técnica se realiza la estimación de la distancia entre el nodo móvil y los nodos fijos usando el nivel de potencia de la señal recibida.

5.5.4.2 Método de estimación RSSI. Este método se basa en la pérdida de potencia que la señal sufre debido al medio de propagación (para el espacio libre, la potencia de la señal decae con el cuadrado de la distancia). Este método utiliza un indicador (Received Signal Strength Indicator, RSSI) que recoge la potencia con la que llega la señal procedente del dispositivo móvil que se desea localizar a la estación receptora. Obviamente, mediante la medición de la potencia recibida en una única estación sólo se consigue una estimación de la distancia a la que puede estar el dispositivo. Para calcular la posición es necesario realizar el mismo proceso con tres estaciones, con el fin de triangular a partir de los datos obtenidos.³⁵

5.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN

La siguiente clasificación explica diferentes métodos con los cuales se puede llevar a cabo la localización de un nodo móvil con respecto a varios nodos fijos haciendo uso de las métricas definidas anteriormente.

5.6.1 Triangulación

- **Definición.** Es un proceso por el cual la localización se determina con la intersección de al menos tres circunferencias centradas en cada posición fija conocida (en este caso, estaciones, nodos o puntos de acceso), cuyo radio ha de guardar relación con el parámetro medido de la señal. La exactitud de la triangulación está ligada a la precisión de cada una de las medidas realizadas. Las medidas pueden estar distorsionadas debido a la orientación de las antenas, al multitrayecto (multipath), a la atenuación por presencia de obstáculos.³⁶

³⁵ GETE, Oscar. Estudio de disponibilidad de señales de localización [en línea]. GPS/GSM, 2015 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6671/1/pfc_OscarGete.pdf

³⁶ Tecnologías y servicios para la sociedad de la información, Op. cit. Disponible en Internet: http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Organos%20de%20Gobierno/Consejo%20Social/Actividades/tecnologias_servicios_para_sociedad_informacion.pdf.

- **Método de la técnica de triangulación.** La técnica de detección de localización de triangulación usa la propiedad de la geometría de triángulos para computar localizaciones de objetos. La triangulación se divide en dos categorías³⁷.

- Lateración (Lateration). Calcula la posición de un objeto midiendo su distancia a múltiples posiciones de referencia. Para calcular la posición de un objeto en dos dimensiones requiere medidas de distancias de tres puntos no colineales (figura 3). En tres dimensiones, se requieren medidas de distancias desde cuatro puntos no colineales. Hay tres aproximaciones para mediciones de distancias requeridas para técnicas de lateración.

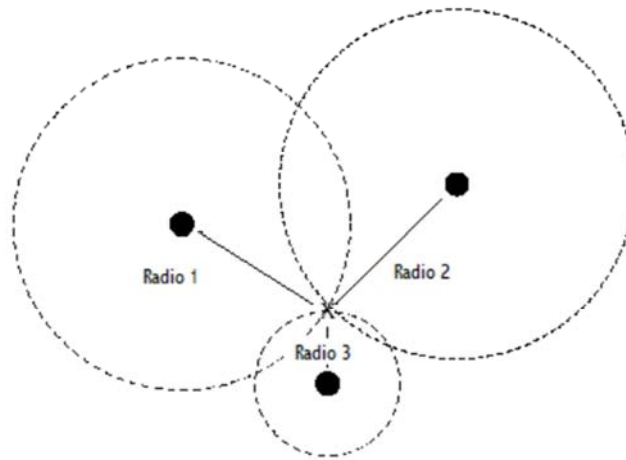
- Directo, Son difíciles de obtener automáticamente debido a la complejidad de coordinar los movimientos autónomos físicos.

- Tiempo de vuelo, Las medidas de distancia de un objeto a algún punto P usando el tiempo de vuelo consiste en medir el tiempo que tarda en viajar una señal entre el objeto y un punto P a una velocidad conocida. El objeto se debe de mover como un avión viajando a una velocidad conocida para un intervalo de tiempo, o que el objeto esté prácticamente estacionario y se intente observar la diferencia en transmisión y tiempo de llegada de una señal emitida.

- Atenuación, La intensidad de una señal emitida disminuye a medida que aumenta la distancia de la fuente de emisión. La disminución de la intensidad original es la atenuación. Dada una función que correlaciona con la atenuación y la distancia para un tipo de emisión y la potencia original de la emisión, es posible estimar la distancia de un objeto a algún punto P por medidas de potencia de la emisión cuando alcance un punto P. Por ejemplo, una señal de radio en espacio libre emitida por un objeto será atenuado por un factor proporcional a $1/r^2$ cuando alcanza el punto P a una distancia r de un objeto. En entornos con muchas obstrucciones como en una oficina, las medidas de distancia usando atenuaciones son normalmente menos exactas que el tiempo de vuelo. La señal de propagación debido a las reflexiones, refracciones y multipath causa la atenuación para una pobre correlación, resultando que la distancia que se estima sea inexacta e imprecisa.

³⁷ Location Sensing Techniques [en línea]. Seattle: Intel-research.net, 2015 [consultado el 07 Enero 2015]. Disponible en: <http://seattle.intel-research.net/people/jhightower/pubs/hightower2001techniques/hightower2001techniques.pdf>

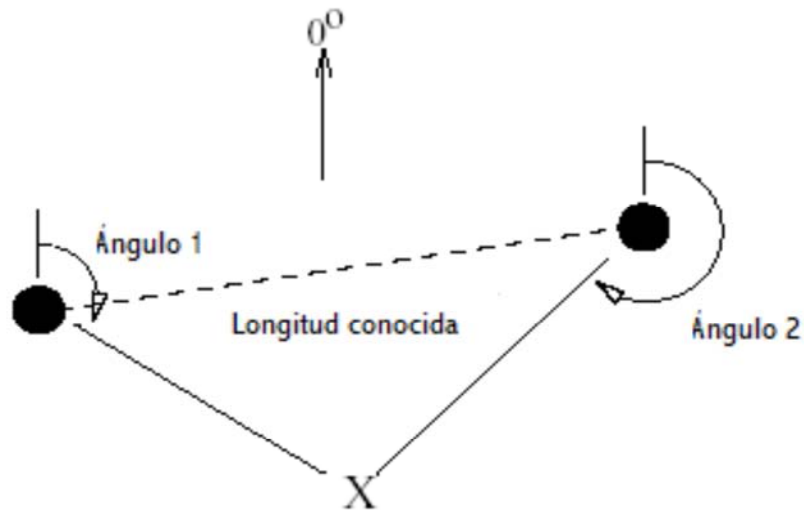
Figura 3. Técnica de lateración



Fuente: Location Sensing Techniques [en línea]. Seattle: Intel-research.net, 2015 [consultado el 07 Enero 2015]. Disponible en: <http://seattle.intel-research.net/people/jhightower/pubs/hightower2001techniques/hightower2001techniques.pdf>.

- **Angulación (Angulation):** La angulación es similar a la lateración, excepto que en lugar de distancias, se usan ángulos para determinar la posición de un objeto (figura 4). En general, en dos dimensiones la angulación requiere dos medidas de ángulos y una longitud así como la distancia entre los puntos de referencia de ángulos para especificar la posición precisa. La fase de los array de antenas es idónea para la técnica de angulación. Dada la diferencia en tiempos de llegada y la geometría del array de recepción, es también posible calcular el ángulo de la emisión original. Si existen suficientes elementos en el array y suficiente separación, se puede calcular la angulación.

Figura 4. Técnica de angulación



Fuente: Location Sensing Techniques. [en línea]. Seattle: Intel-research.net, 2015 [consultado el 07 Enero 2015]. Disponible en: <http://seattle.intel-research.net/people/jhightower/pubs/hightower2001techniques/hightower2001techniques.pdf>.

5.6.2 Fingerprint

- **Definición.** Esta técnica sólo requiere generalmente la medida de la potencia de la señal recibida, u otras características no geométricas, en varias localizaciones. A partir de estos valores se crea una base de datos de localizaciones fingerprint. Para estimar la localización del nodo móvil, el sistema necesita primero medir la potencia de la señal recibida en posiciones concretas y después buscar el patrón de fingerprint con el que concuerde más en la base de datos. Esta técnica no requiere que el nodo móvil vea al menos tres estaciones base o puntos de acceso para determinar la localización. La desventaja de esta técnica es que requiere mucho tiempo la recolección exhaustiva de datos de un determinado área.³⁸

³⁸ NAVARRO HUERGA, Miguel. Análisis de medidas de potencia en interiores para su aplicación en sistemas de localizaón basados en la técnica del fingerprinting [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá, 2010 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/9742/Tesis%20NAVARRO%20HUERGA%20MIGUEL%20%C3%81NGEL.pdf?sequence=1>

- **Método de la técnica Fingerprint.** Este es un método basado en la comparación de bases de datos y se realiza en dos fases. La fase Off-line o de aprendizaje y la fase On-line o de posicionamiento. Durante la primera se realiza la medición de los vectores de potencia en cada uno de los puntos de referencia predefinidos; con esta información se genera una base de datos.

Posteriormente, en la fase On-line el nodo móvil ubicado dentro del entorno mide la potencia de los nodos de referencia y esta información que es un vector de potencias se compara con la otra base de datos por medio de una serie de algoritmos que encuentran la localización que tenga el vector de potencias más parecido.³⁹

5.7 ALGORITMOS DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN

A continuación se explican una serie de algoritmos que se emplean para el procesamiento de la información obtenida como resultado de la ejecución de las técnicas de triangulación y fingerprint para encontrar y optimizar una localización. Entre los destacados están:

5.7.1 Los métodos de KNN.

Este algoritmo se denomina los K-vecinos más próximos, este método busca dentro de la base de datos creada en el proceso de Fingerprinting, y selecciona los puntos que mejor se ajustan a las señales recibidas en el lugar en el que se encuentra el nodo móvil. El criterio usado para seleccionar dichos puntos es la menor distancia euclídea de las fuerzas, tomando las fuerzas como distancias métricas. Una vez seleccionados los k puntos con la distancia mínima al punto donde estamos, se calculará el baricentro de dichos puntos, y así se halla el punto donde se encuentra el nodo móvil.⁴⁰

³⁹NÚÑEZ SOBRINO y VILLENA, Op. cit. Disponible en Internet: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11912/PFC_MAngeles_Nunez_Sobrinio.pdf?sequence=1

⁴⁰GONZÁLEZ BLÁZQUEZ, Adolfo; MULAS GÓMEZ, Pablo Pedro y RIVERA RETAMAR, Rafael Localización de dispositivos móviles en interiores usando redes Wireless [en línea]. Madrid: Universidad Carlos III, 2007 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/9131/1/Memoria.pdf>

5.7.2 Los métodos bayesianos.

Este algoritmo proporciona un potente marco probabilístico general para estimar la posición de un dispositivo móvil en un escenario a partir de la observación de las señales recibidas de los puntos de acceso alcanzables y las acciones realizadas anteriormente. De esta forma se pueden obtener los desplazamientos realizados por el dispositivo y, por tanto, la trayectoria seguida.⁴¹

5.7.3 Las redes neuronales.

Este tipo de algoritmos tienen la capacidad de aprender patrones, mediante una etapa de entrenamiento, y luego aprovecha la capacidad de generalización de las redes para clasificar patrones para los cuales la red no ha sido entrenada. La principal característica es la capacidad de aprendizaje, es decir, que aprenden a realizar ciertas acciones y a diferenciar patrones por medio de entrenamientos. La etapa de aprendizaje consiste en la obtención de datos generados a través de posiciones aleatorias dentro del área de cobertura o un espacio determinado, calculándose las distancias respectivas a cada nodo base y formando el par entrada-salida para el entrenamiento, donde la entrada corresponde a las distancias respectivas a cada nodo base (absolutas o relativas según sea el caso) y la salida corresponde a la posición real (coordenadas x, y del nodo móvil). En este proceso de aprendizaje, los enlaces ponderados de las neuronas se ajustan de tal forma para obtener ciertos resultados específicos. Una red neuronal no necesita un algoritmo para resolver un problema, ya que ella se encarga de generar su propia distribución de pesos en los enlaces mediante el aprendizaje. Además, ciertas clases de redes neuronales emplean su capacidad de aprendizaje adaptativo para auto-organizar la información que reciben durante el aprendizaje. Dicha auto-organización permite a las redes neuronales responder de manera apropiada cuando se les presentan datos o situaciones a las que no habían sido expuestas anteriormente.⁴²

⁴¹ NAVRRO HUERGUERA, Op. cit., Disponible en: <http://www.dccia.ua.es/~domingo/articulos/gallardo-tesis.pdf>

⁴² BELANDRIA, Edgar; PAREDES, José Luis y VILORIA, Francisco localización de móviles en telefonía celular usando redes neuronales. En: Interciencia. 2006. Vol. 31, no, 4 [en línea]. [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442006000400010&script=sci_arttext

6. DESARROLLO Y PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

En este capítulo se encuentra detallado todo el proceso que se llevó a cabo para la elaboración de un prototipo de un sistema de localización indoor. De esta manera se procede al desarrollo y planteamiento concreto de la misión.

6.1 DESARROLLO Y PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

Cuadro 1. Planteamiento de la misión

Descripción del Producto <ul style="list-style-type: none">• Sistema de localización Indoor basado en Bluetooth 4.0 y plataforma Android.
Criterios de Diseño <ul style="list-style-type: none">• Ofrecer una interfaz amigable orientada hacia la facilidad de uso del usuario.• Garantizar la fiabilidad del sistema.• Recolectar información de la actividad de la aplicación de manera que se pueda optimizar a medida que se usa.
Mercado Primario <ul style="list-style-type: none">• Profesores y estudiantes del área científica que deseen continuar con el estudio de prestación de servicios basados en micro localización.
Mercado secundario <ul style="list-style-type: none">• Empresas que necesiten localización en espacios cerrados en donde el Sistema de Posicionamiento Global no funcione.
Premisas Y Restricciones <ul style="list-style-type: none">• Bajo costo de implementación• Tecnologías innovadoras• Plataforma Android• Bajo uso de recursos en el Smartphone• Interfaz intuitiva

El planteamiento de la misión del proyecto ayuda a delimitar el contexto de diseño adecuado para obtener los resultados esperados en el momento de la generación de objetivos. Además de esto, se generan parámetros que debe cumplir el diseño, teniendo el usuario final como factor determinante para el desarrollo que se lleva a cabo, de manera que se interprete de forma objetiva las necesidades existentes.

Luego de tener el mercado primario y secundario, se requiere determinar las necesidades que el usuario puede llegar a tener en relación con el producto en desarrollo. Para esto se realizó una investigación de los escenarios donde se plantea desarrollar este proyecto y en conjunto con una lluvia de ideas se generaron las necesidades que se consideraban útiles para el desarrollo del proyecto.

Cuadro 2. Identificación de necesidades del usuario

Planteamiento del Cliente	Planteamiento de la Necesidad
Las aplicaciones para celular tienden a ser complicadas de manejar para personas que no cuentan con conocimientos en el tema.	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil Manejo • Fácil Entendimiento de la aplicación • Interfaz orientada al usuario
Es necesario que la precisión del sistema sea alta para eliminar posibles errores de medida.	<ul style="list-style-type: none"> • Buena precisión (menor a un metro)
Que el sitio de trabajo sea modificable, sin tener en cuenta las medidas.	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil Calibración • Mapas intercambiables
Se debe manejar una buena seguridad en la aplicación, de manera que los datos recogidos sean anónimos y no se comprometa la privacidad de los usuarios en ningún momento.	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad para el usuario • Anonimidad para el usuario
Generar un impacto diferente a las tecnologías similares existentes basadas en wifi y redes móviles.	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de tecnología innovadora
La aplicación debe tener un bajo costo o en lo posible ser gratis para facilitar la adaptación en los usuarios.	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo (Gratis) en la aplicación hacia los usuarios
Se deben tener soporte constante de manera que los errores sean corregidos a tiempo y no generen inconformidad en los usuarios	<ul style="list-style-type: none"> • Actualizaciones periódicas con corrección de errores
La aplicación no debe ocupar mucho espacio en memoria debido a las limitaciones que tienen algunos dispositivos de agregarle memoria externa	<ul style="list-style-type: none"> • Uso reducido de memoria interna en el Smartphone.
La aplicación no debe gastar demasiada batería del celular cuando este en uso	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo consumo de batería
La infraestructura necesaria para la implementación del sistema debe ser económica y accesible	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de infraestructura

Luego de obtener las necesidades del producto, es necesario realizar una ponderación en donde se indique el nivel de importancia para cada una, por lo que

se procede a asignar un valor de 1 a 5 a cada una siendo 1 el nivel de menor importancia y 5 el de mayor.

Cuadro 3. Tabla de ponderación de necesidades

Numero	Necesidad	Importancia
1	Fácil Manejo	3
2	Fácil Entendimiento de la aplicación	4
3	Interfaz orientada al usuario	4
4	Buena precisión	5
5	Fácil calibración	5
6	Intercambiabilidad de los mapas	4
7	Nivel de seguridad para el usuario	4
8	Anonimidad para el usuario	4
9	Uso de tecnologías innovadoras	4
10	Costo aplicación	3
11	Actualizaciones periódicas con corrección de errores	3
12	Uso reducido de memoria interna en el Smartphone.	5
13	Bajo consumo de batería	4
14	Bajo costo de infraestructura	4

Debido a que muchas de estas necesidades no son cuantificables, es necesario reorganizarlas de manera que se pueda determinar una métrica que lo haga posible. Se tiene en cuenta que varias necesidades se pueden medir mediante la misma métrica, sin que esto las convierta en una misma necesidad.

Luego de esto, se pueden establecer parámetros que ayudaran a evaluar el cumplimiento del diseño con respecto a cada necesidad.

6.2 MEDIDAS Y UNIDADES PARA LAS NECESIDADES

Luego de tener la importancia de cada necesidad se agrupan las necesidades que pueden ser representadas por la misma métrica de manera que se puedan establecer los valores marginales e ideales para cada una (cuadro 4).

Cuadro 4. Medidas y unidades de las necesidades

No	Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal
1	1,2,3	Fácil Uso	4	Subjetiva	3	5
2	4	Precisión	5	Metros	<3m	<1m
3	5	Calibración	5	Pixel/metro		
4	6	Intercambiabilidad Mapas	4	Binario	No	Si
5	7,8	Seguridad	4	Subjetivo	3	5
6	9	Tecnología Innovadora	4	Binario	No	Si
7	10	Costo aplicación	3	COP\$	<3000	0
8	11	Actualizaciones	3	Binario	No	Si
9	12	Uso memoria	5	Mb	<50mb	<10mb
10	13	Uso batería	4	%batería	<20%	<5%
11	14	Costo infraestructura	4	COP\$	<500000	<100000

De acuerdo a la tabla anterior, se puede determinar cuáles son las necesidades principales y de qué manera se puede cuantificar si se satisfacen o no, por lo que esto se toma como guía a la hora de generar el diseño.

Cuadro 5. Necesidades con el modelo de Kano

Necesidad	Importancia	Kano	HoQ
Fácil Uso	4	Dissatisfier	√
Precisión	4	Dissatisfier	√
Calibración	5	Dissatisfier	√
Intercambiabilidad Mapas	4	Satisfier	√
Seguridad	4	Satisfier	√
Tecnología Innovadora	4	Satisfier	√
Costo aplicación	3	Dissatisfier	√
Actualizaciones	3	Delighter	
Uso memoria	5	Satisfier	√
Uso batería	4	Delighter	√
Costo infraestructura	4	Satisfier	√

De acuerdo al modelo Kano, los *delighters* son aquellos factores diferenciadores que el cliente no espera del producto; los *Satisfiers* son aquellos valores agregados que incrementan la satisfacción del cliente al usar la aplicación; y los *dissatisfiers* son aquellas necesidades que de no cumplirse, no satisface al usuario en absoluto.

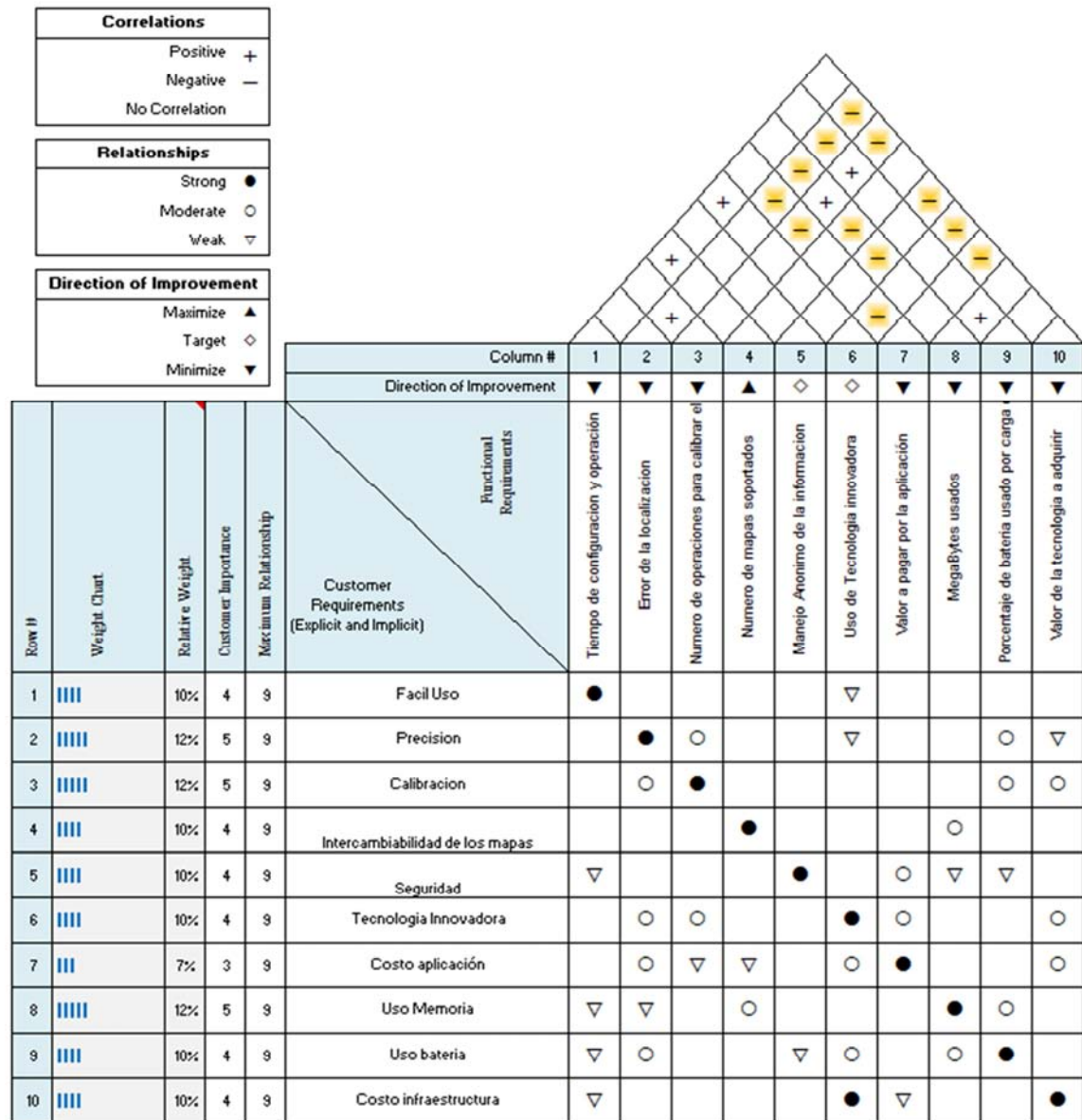
6.3 CASA DE LA CALIDAD (QFD)

La casa de la calidad es una matriz que relaciona las necesidades con las métricas halladas, permitiendo enfocar el diseño en las áreas más adecuadas.

Las necesidades del usuario se ubican en la columna izquierda, permitiendo que se relacionen con las unidades métricas (requerimientos técnicos) que se ubican en la fila superior.

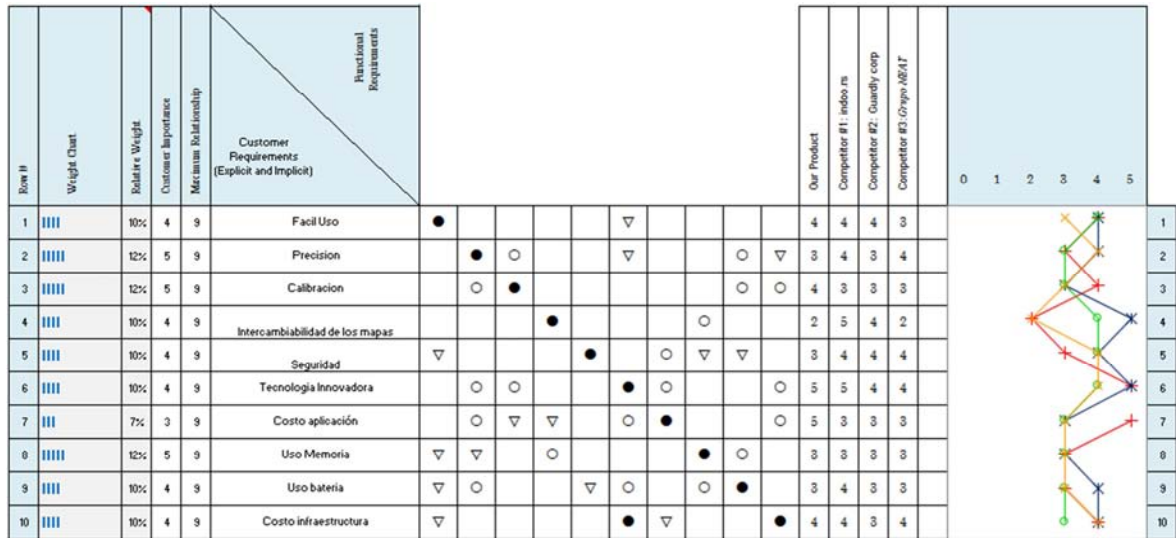
En el techo de la casa de la calidad se indican las correlaciones entre los requerimientos técnicos, permitiendo determinar en que se ve reflejado el aumento o disminución de uno de estos en relación con los demás.

Figura 5. Casa de la calidad: relación entre necesidades y requerimientos técnicos



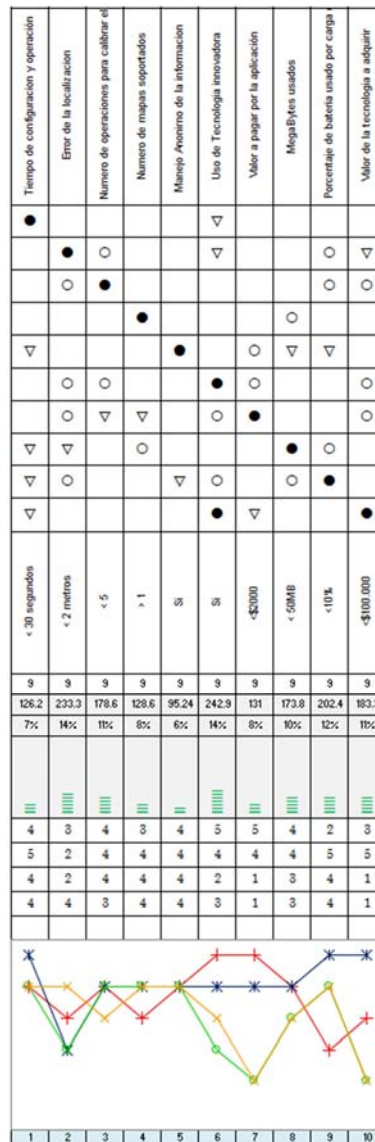
En la figura 5 se observa la gráfica generada a partir del nivel de satisfacción del producto propio (esperado), y de los productos similares de la competencia en relación con las necesidades.

Figura 6. Casa de la calidad: Capacidad de satisfacer las necesidades del cliente por parte del producto a desarrollar, y de productos similares de la competencia (benchmarking)



La parte inferior de la casa de la calidad muestra la relación entre la aplicación a desarrollar, junto con otras similares con los requerimientos técnicos, tal como se muestra en la figura 6. De esta forma se obtienen los niveles de importancia de las métricas.

Figura 7. Casa de la calidad: relación del producto con los de diferentes empresas en relación con los requerimientos técnicos



A partir de la casa de la calidad se obtiene que el uso de tecnología innovadora y la precisión son los principales requerimientos que se deben tener en cuenta en el momento de realizar el diseño de la aplicación.

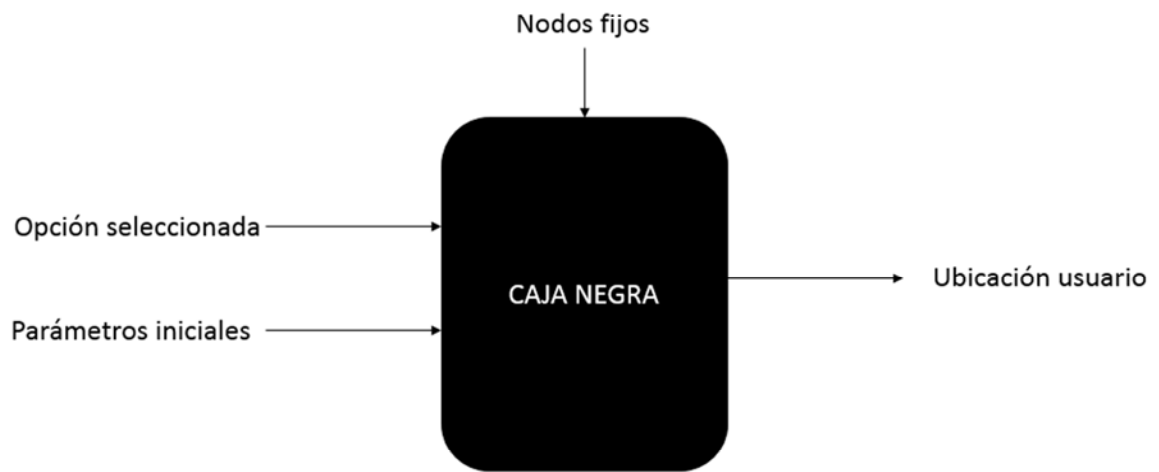
Luego de haber obtenido los resultados de la casa de la calidad (QFD), y de haber determinado los requerimientos técnicos de mayor importancia a abordar con el fin de satisfacer al usuario, se procede a continuar con diseño concurrente.

7. GENERACIÓN, SELECCIÓN Y PRUEBA DE CONCEPTOS

7.1 CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA

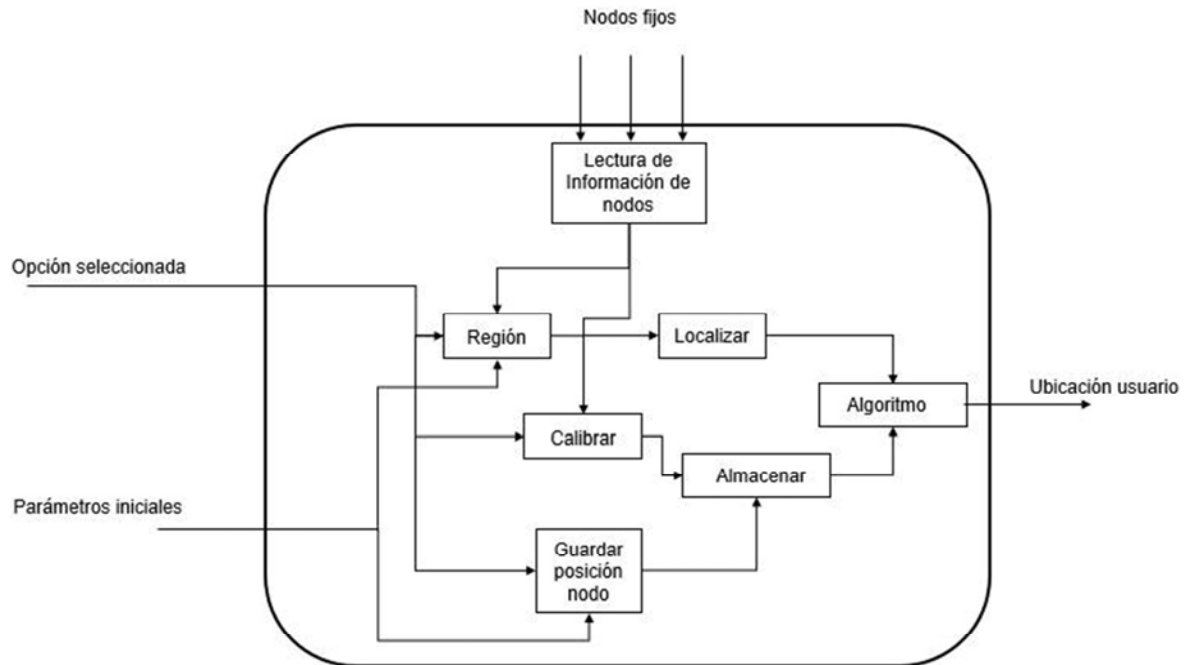
7.1.1 Caja Negra. La función de la caja negra es presentar un boceto general del funcionamiento del sistema (figura 8), mostrando las entradas y salidas pero obviando el funcionamiento interno. Debido a esto, es necesario desarrollar una descomposición funcional detallando el funcionamiento interno, mostrando los subsistemas que componen el procesos y de esta manera abordarlos de manera independientes.

Figura 8. Caja negra



7.1.2 Descomposición funcional. Una vez terminada la construcción de la caja negra, se procede a realizar la descomposición funcional del sistema, de tal manera que este se descomponga en todos los subsistemas necesarios para transformar las entradas en la única salida (figura 9).

Figura 9. Caja gris



Los subsistemas necesarios para transformar las entradas en una única salida de todo el sistema se pueden observar en la figura 10. A continuación se realiza una explicación de cada uno de los subsistemas:

- **Región:** la función de este subsistema es validar si los nodos fijos se encuentran en cobertura, es decir, si se encuentran en el espacio determinado para su funcionamiento (la región es llamada “sótano”), es por eso que este subsistema se sitúa previo a “Localizar”, de la misma manera requiere la información proveniente del subsistema “Lectura de información de nodos”, los parámetros iniciales y la opción seleccionada por el usuario que son las entradas del sistema como tal.
- **Lectura de información de nodos:** este subsistema cumple la función de obtener la información enviada en cada transmisión por cada uno de nodos fijos que se encuentran al alcance.
- **Calibrar:** la función de este subsistema es permitir la calibración de la distancia de cada uno de los nodos fijos de forma individual y es habilitada por la opción seleccionada por el usuario. Esta función se lleva a cabo obteniendo la información que brinda el subsistema de “Lectura de información de nodos”.

- **Guardar posición nodo:** esta función permite seleccionar la posición en la que se encuentra el nodo fijo y envía esta información al subsistema “Almacenar”. Este subsistema recibe la información de la entrada de parámetros iniciales y es habilitada por la opción seleccionada por el usuario.
- **Localizar:** esta función es una de las que puede seleccionar el usuario y permite visualizar el plano precargado de un espacio determinado, pero es habilitada por el subsistema “Region”, y por medio de este se habilita el subsistema “Algoritmo”.
- **Almacenar:** este subsistema realiza la función de crear un archivo en el dispositivo móvil y guardar la información que es proporcionada por los subsistemas “Calibrar” y “Guardar posición nodo”.
- **Algoritmo:** este subsistema lleva a cabo la implementación del algoritmo como tal que determina la ubicación del dispositivo móvil utilizando la información necesaria que proporciona el subsistema “Localizar” y el archivo creado por “Almacenar”

7.2 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

7.2.1 Combinación de conceptos. En el cuadro 3 se encuentran consignadas las posibles soluciones para las funciones de la aplicación. De esta manera, se generaron conceptos basados en combinaciones de estas soluciones, de las cuales se eligió una luego de seguir con la metodología de diseño concurrente.

Cuadro 3. Generación de conceptos

Plataforma	Red Inalámbrica	Métrica	Algoritmo
Android	Wifi	RSSI	Fingerprinting
iOS	Bluetooth Smart (BLE)	AOA	Triangulación
		TOA	
		TDOA	

Lo primero que se debe tomar en cuenta es que por el planteamiento que se le ha dado a la solución al problema original, se descarta completamente la plataforma iOS ya que se plantea generar un diseño y prototipo en una plataforma en donde

se genere un desafío para el desarrollador. Además se debe aclarar que no todas las combinaciones son una solución al problema.

- Android + Wifi + RSSI + Fingerpringing – Concepto A
- Android + Wifi + AOA + Triangulación – Concepto B
- Android + Wifi + TOA + Triangulación – Concepto C
- Android + Wifi + TDOA + Triangulación – Concepto D
- Android + BLE + RSSI + Triangulación - Concepto E
- Android + BLE + RSSI + Fingerprinting – Concepto F
- Android + BLE + TOA + Triangulación – Concepto G

Se debe tener en cuenta que el bluetooth del que se habla es Bluetooth Smart (Bluetooth Low Energy o Bluetooth 4.0), debido a que el bluetooth tradicional tiende a consumir grandes cantidades de batería y recursos internos del celular para su operación, por lo que no es óptimo de utilizar para este tipo de aplicación.

7.2.2 Representación de conceptos. A continuación se pasa a describir los diferentes conceptos planteados anteriormente, de manera que se pueda dar una idea más completa del funcionamiento de cada uno sin entrar a describir cada detalle de ellos, debido a que esto se hará más adelante con el concepto definitivo.

Concepto A: Android + Wifi + RSSI + Fingerprinting. La anterior combinación se basa en el muestreo de “huellas” generadas por la intensidad de señal del emisor Wifi (punto de acceso) con respecto al receptor (usuario). Estas huellas son creadas de manera offline, generando un mapa virtual del escenario.

El funcionamiento de este concepto se basa en la comparación de datos del usuario con respecto a los puntos de acceso en relación con los guardados previamente, determinado su localización por la cercanía a los datos guardados previamente.

Concepto B: Android + Wifi + AOA+ Triangulación. El funcionamiento de este concepto se basa en la obtención del ángulo de llegada de la señal en el dispositivo desde diferentes nodos, Teniendo como restricción que la distancia entre nodos fijos debe ser conocida en todo momento.

Concepto C: Android + Wifi + TOA+ Fingerprinting. Este concepto emplea el tiempo que tarda la señal en llegar al receptor desde el transmisor (punto de acceso) para calcular la distancia recorrida, generando un radio que en unión con otros puntos de acceso puede generar una posición que será guardada para así obtener las huellas necesarias para realizar el Fingerprinting.

Concepto D: Android + Wifi + TDOA + Triangulación. El TDOA (Diferencia de tiempo de llegada) es similar al TOA en cuanto a que ambos utilizan tiempos, pero este concepto emplea la diferencia entre el tiempo de salida de la señal en dos o más nodos fijos con respecto al receptor móvil, generando hipérbolas que luego se interceptaran logrando así la localización. Se requiere que todo el sistema este sincronizado debido a que las medidas de distancia se basan en tiempos y estas serán la base de la aplicación.

Los conceptos siguientes son basados en Bluetooth Smart, el cual es mucho más reciente que el Wifi. De esta forma, se entiende que un proyecto que incluya la implementación de la tecnología BLE, va a ser más representativo e importante debido a su nivel de innovación.

Actualmente muchos dispositivos están integrando BLE a sus diseños, especialmente en desarrollos relacionados con ciudades inteligentes, computación ubicua, etc. Siendo ejemplos de esto los relojes inteligentes, los termostatos Nest, las bombillas inteligentes, entre otros.

Concepto E: Android + BLE + RSSI + Triangulación. Este concepto basa su funcionamiento en la generación de radios a partir de la distancia obtenida matemáticamente empleando la potencia de la señal recibida, por lo que su funcionamiento se verá afectado positivamente a medida que el número de nodos aumente, como es normal en un espacio en donde se vaya a emplear esta tecnología.

Un desarrollo basado en Bluetooth Low Energy posee grandes ventajas, ya que los nodos que se deben instalar son de bajo costo, además que agregan el concepto de microlocalización o localización por contexto, el cual permite prestar

servicios al usuario basados en el espacio en el que se encuentra, abriendo nuevas puertas a desarrollos aún más complejos que integren la localización como parte de ellos.

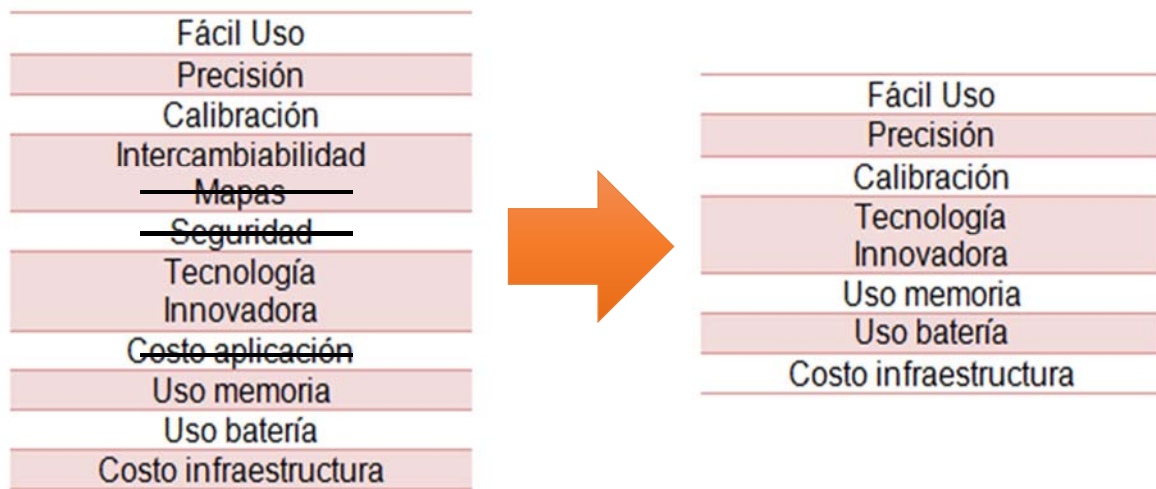
Concepto F: Android + BLE+ RSSI + Fingerprinting. Este desarrollo es similar al anterior, pero su diferente algoritmo permite que la implementación varíe radicalmente, ya que el Fingerprinting crea un mapa virtual basado en medidas previamente guardadas, y el posicionamiento se basa en la comparación de la medida actual del usuario EN LÍNEA con las obtenidas en modo OFFLINE, además de que es necesario emplear métodos estadísticos heurísticos que en conjunto con ecuaciones no lineales permitan aproximar aún más la posición de la persona, reduciéndolo a un solo punto en vez de un espacio generalizado.

Concepto G: Android + BLE + TOA+ Triangulación. La triangulación se genera mediante las distancias halladas por medio de ecuaciones matemáticas que relacionan los resultados obtenidos en el TOA con medidas del mundo real, proporcionando a la aplicación generar radios cada vez más precisos de manera que se pueda ubicar al usuario con alta precisión.

Se debe tener en cuenta que el periodo de transmisión de información de los beacons debe estar sincronizado (con base a una misma señal de reloj) , debido a que se necesitan saber los tiempos en todo momento para medir el tiempo de llegada de la señal en ambos sentidos entre el emisor y el receptor. Dado que esto genera gran dificultad a la hora de implementarse, es necesario pensar en la construcción de beacons propios, de manera que todos los parámetros sean controlables y pueda agregarse la posibilidad de sincronizarlos entre ellos, obteniendo un resultado similar al de utilizar puntos de acceso Wifi.

Selección de conceptos. Para determinar los criterios de evaluación de la matriz de tamizaje, se toma como base la casa de la calidad realizada anteriormente de manera que se seleccionan los criterios más relevantes (figura 10).

Figura 10. Selección de conceptos



Se eliminan los criterios de Seguridad, Intercambiabilidad de mapas y costo de aplicación debido a que estos se derivan del mismo desarrollo de la aplicación móvil requerida para solucionar el problema original, de manera que independientemente de la tecnología empleada, el costo y los niveles de seguridad con los que se maneje la información obtenida serán los mismos, además que los escenarios serán intercambiables para aumentar la versatilidad de la aplicación y no limitarla a un solo espacio.

7.2.3 Criterios. A continuación se exponen los criterios de selección para tener en cuenta:

- **Fácil Uso:** La aplicación generada deberá ser de fácil entendimiento para el usuario regular, por lo que su desarrollo debe estar pensado para ser intuitivo y tener una interfaz amigable.
- **Precisión:** Es un factor importante debido a que un sistema de localización es útil solo si el resultado obtenido es muy aproximado a la realidad.
- **Calibración:** En muchas ocasiones las medidas tomadas por la aplicación pueden variar, ya sea por ruido electromagnético, obstáculos en el camino de la señal, o algún factor externo. Para solucionar esto, es necesario que haya una

manera de recalibrar la aplicación, optimizando la toma de datos y minimizando el error a su mínima expresión posible.

- **Tecnología innovadora:** Es importante que la aplicación desarrollada para el problema planteado genere una solución que contenga tecnologías innovadoras, lo que quiere decir que haga uso de elementos para los que haya un mercado amplio y por ende se promueva su uso. Además de esto, se sabe que es necesario estar a la vanguardia en temas de tecnología.
- **Uso memoria:** Muchos dispositivos móviles en el mercado cuentan con una cantidad limitada de memoria interna no expandible, por lo que el peso de la aplicación deberá ser minimizado al máximo para generar conformidad en el usuario.
- **Uso batería:** Este es un factor realmente importante debido a que un uso exagerado de recursos del celular (RAM, procesador, etc) genera que el dispositivo mantenga activo más tiempo, generando incomodidad en el usuario y pudiendo hacer que la aplicación sea desinstalada por estar mal optimizada.
- **Costo infraestructura:** Por último, la infraestructura necesaria para implementar la solución planteada es un factor diferenciador, debido a que siempre se debe buscar la economía para el cliente, por lo que debe optimizarse el uso de nodos en todo momento y encontrar la manera de mantener una máxima calidad al mínimo costo posible.

7.2.4 Matriz de Tamizaje. Para seleccionar la referencia con la que se compararan los conceptos, se recurrió al estado del arte desarrollado anteriormente, de tal manera que se encontrara el desarrollo que más satisfacía los objetivos planteados y de esta forma obtener resultados reales.

Cuadro 6. Primera matriz de tamizaje

Criterios de evaluacion	A	B	C	D	E	F	G	Ref. Indoo.rs
Facil Uso	o	o	o	o	o	o	o	o
Precision	-	-	-	-	+	-	o	o
Calibracion	-	-	o	o	+	-	+	o
Tecnologia Innovadora	-	-	-	-	+	+	+	o
Uso Memoria	-	-	-	-	-	-	-	o
Uso Bateria	-	-	-	-	o	o	o	o
Costo Infraestructura	-	-	-	-	o	o	o	o
Positivos	0	0	0	0	3	1	2	
Iguals	1	1	2	2	3	3	4	
Negativos	6	6	5	5	1	3	1	
Total	-6	-6	-5	-5	2	-2	1	
Orden	6	6	4	4	1	3	2	
¿Continuar?	No	No	No	No	Si	No	??	

Lo primero que se observa en la matriz de tamizaje anterior, es que la mayor parte de los resultados obtenidos de los conceptos generados con respecto a la referencia son negativos, esto se debe a que la empresa escogida como referencia es una de las pocas empresas a nivel mundial que están enfocadas completamente en el desarrollo de esta tecnología, y por esto mismo se han convertido en pioneros y referentes de la localización indoor.

Adicionalmente, encontramos que 2 criterios no representan ninguna ventaja competitiva para los diferentes conceptos:

- Fácil uso: Como se ha mencionado anteriormente, el desarrollo de la aplicación deberá ser de fácil manipulación para el usuario, por lo que se piensa que todos los desarrollos estarán al nivel de indoo.rs, generando poca ventaja para ningún concepto en particular.
- Uso memoria: Dada la poca experiencia de los integrantes del grupo en relación al desarrollo de aplicaciones Android y su optimización en términos de espacio ocupado, es difícil determinar cuál ocupará más o menos en esta etapa del desarrollo, por lo que se cree que todas tenderán a estar en desventaja en

relación con la aplicación de indoo.rs, debido a que esta ya lleva tiempo en el mercado y ha sido actualizada y optimizada varias veces.

Luego de realizar la primera matriz de tamizaje, se procede a realizar este procedimiento una segunda vez reemplazando la referencia con la opción No.1 obtenida en la primera matriz (cuadro 7).

Cuadro 7. Segunda matriz de tamizaje

Criterios de evaluacion	A	B	C	D	F	G	Ref. Concepto E
Precision	-	-	-	-	o	+	o
Calibracion	-	o	o	o	-	+	o
Tecnologia Innovadora	-	-	-	-	o	o	o
Uso Bateria	-	-	-	-	+	o	o
Costo Infraestructura	-	-	-	-	o	o	o
Positivos	0	0	0	0	1	2	
Iguales	0	1	1	1	3	3	
Negativos	5	4	4	4	1	0	
Total	-5	-4	-4	-4	0	2	
Orden	7	3	3	3	2	1	
¿Continuar?	No	No	No	No	??	Si	

Tomando como referencia el concepto E, encontramos que solo el concepto G obtiene resultados positivos, probando ser la segunda opción más viable a desarrollar, pero para determinarlo es necesario realizar una tercera matriz tomando nuevamente como referencia al ganador de la segunda matriz (cuadro 7).

Cuadro 8. Tercera matriz de tamizaje

Criterios de evaluacion	A	B	C	D	E	F	Ref. Concepto G
Precision	-	-	-	-	+	o	o
Calibracion	-	o	o	o	o	-	o
Tecnologia Innovadora	-	-	-	-	o	o	o
Uso Bateria	-	-	o	-	o	+	o
Costo Infraestructura	-	-	-	-	o	o	o
Positivos	0	0	0	0	1	1	
Iguals	0	1	2	1	5	3	
Negativos	5	4	3	4	0	1	
Total	-5	-4	-3	-4	1	0	
Orden	6	4	3	4	1	2	
¿Continuar?	No	No	No	No	Si	??	

Con las 3 matrices anteriores se puede inferir que el wifi queda descartado de los conceptos a desarrollar, principalmente porque no es una tecnología innovadora y porque los costos de implementación serán más altos. Por lo que se presentan como conceptos a desarrollar los E, F, y G.

Para seleccionar el concepto a desarrollar es necesario desarrollar una matriz para evaluar conceptos, la cual consiste en asignarle una ponderación a cada criterio y relacionar estos con cada concepto, generando así una nota individual a cada uno y de esta manera obtener un concepto ganador que será el que se continúe desarrollando en el transcurso del proyecto.

Cuadro 9. Cuarta matriz de tamizaje

Criterio de selección	% Ponderacion	CONCEPTO E		CONCEPTO F		CONCEPTO G	
		Nota	Criterio Ponderado	Nota	Criterio Ponderado	Nota	Criterio Ponderado
Precision	25	4	1	3	0,75	3	0,75
Calibracion	15	3	0,45	2	0,3	3	0,45
Tecnologia Innovadora	25	4	1	4	1	4	1
Uso Bateria	20	3	0,6	2	0,4	2	0,4
Costo Infraestructura	15	4	0,6	3	0,45	4	0,6
Total			3,65		2,9		3,2
Orden			1		3		2
¿Continuar?		Si		No		No	

De acuerdo al desarrollo de la generación de conceptos, se determina que el Concepto E (Android + BLE + RSSI + Triangulación) es el concepto a implementar.

8. DISEÑO DETALLADO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

Luego de determinar el concepto a implementar, se procedió a generar un diseño detallado con todos los pasos necesarios para satisfacer los objetivos planteados en el inicio del proyecto.

Para esto, se detallará el funcionamiento de cada parte de la aplicación, junto con la explicación de cada componente a implementar, demostrando el estudio previo y la justificación de la selección para el diseño realizado.

El sistema desarrollado permitirá a un usuario portador de un dispositivo móvil conocer su ubicación relativa con respecto a un espacio físico previamente definido y parametrizado a través de una aplicación (app) previamente instalada. El funcionamiento del sistema en forma global consiste en una estructura que está compuesta por los beacons que envían una señal que es captada por el dispositivo móvil, el cual por medio de un algoritmo logra determinar la posición del usuario y de esta manera reflejarla en el plano de planta previamente guardado indicándole su localización. Como parte del proceso de calibración la aplicación cuenta con opciones adicionales que le permiten al usuario guardar la posición en que se encuentran los beacons, así como ajustar el sistema en el momento de iniciar la aplicación o cuando lo desee, modificando los parámetros guardados anteriormente; de esta manera se logra obtener un sistema más versátil, capaz de adaptarse a diferentes espacios físicos.

8.1 ESCENARIO

Con el objeto de servir de marco para la generación de las funcionalidades del sistema se han generado 3 posibles escenarios en donde la localización indoor puede llegar a ser necesaria para la prestación de servicios de característica ubicuas.

8.1.1 Facultad de Ingeniería. Un día de universidad, el estudiante Juan necesita reunirse con el profesor Pedro para solucionar una duda previa a un parcial de Matemáticas, pero cuando llega a la facultad se encuentra con que el profesor Pedro no está en su cubículo, por lo que procede a mirar su celular, de tal manera que se entera que este profesor Pedro se encuentra tomándose un pequeño descanso de 5 minutos y que en un momento regresa, Juan procede a dirigirse a la zona de espera y al pasar frente de la oficina del profesor de electrónica digital el sistema le informa que tiene unas prácticas de laboratorios pendientes para

realizar y que la fecha de entrega se aproxima. Pasado el tiempo, el estudiante Juan recibe la respuesta (positiva o negativa) del profesor Pedro respecto a su disponibilidad para reunirse con él, y de acuerdo a esto, Juan pasa a la oficina o sabe que definitivamente no podrá. En todo momento, el sistema guardara la información de los estudiantes que van a pedir consulta, de tal manera que se tenga un mayor control sobre las monitorias prestadas por el profesor Pedro, y el interés de los estudiantes hacia las materias en horarios diferentes a los de la clase.

8.1.2 Biblioteca. El estudiante Martin entra a la biblioteca de la universidad Autónoma de Occidente con el propósito de buscar un libro en específico sobre electrónica digital, por lo que procede a buscarlo en su celular indicándole que se encuentra en el segundo nivel de la biblioteca, así que Martin se dirige al segundo piso pero cuando va caminando en frente de la recepción el sistema le informa que la fecha de entrega del libro Básico de Android que tiene prestado ya está a punto de expirar. Luego de subir al segundo piso de la biblioteca se encuentra caminando por el corredor al mismo tiempo el sistema detecta que un libro de Instrumentación que Martin estuvo buscando la semana pasada ya se encuentra disponible generando una notificación de manera inmediata con esta información y le pregunta si desea o no agregar este libro a su pedido para llevarlo hoy junto con el libro de electrónica digital. Adicional a esto, después de llegar a la ubicación y tomar el libro de electrónica digital el sistema le presenta los espacios de estudio que puede utilizar y que en el momento se encuentran disponibles en este nivel, como son los cubículos de lectura, la sala de lectura o también los cubículos que contienen computador, sin embargo el estudiante Martin prefiere llevarse el libro para su casa así que realiza la reserva y se dirige a la salida, cuando va caminando frente a la zona de sillas de diseño especial para la lectura el sistema le informa que hay una disponible, pero Martin ya ha tomado la decisión de llevarlo a casa, inmediatamente sale de la biblioteca se le informa que no debe olvidar las fechas de entrega de los libros.

8.1.3 Sótano. Un día cualquiera en la entrada del sótano 1 de la universidad Autónoma de Occidente se encuentra el estudiante Cesar con el fin de realizar una práctica de Instrumentación, así que ingresa a su Tablet para mirar en que parte del sótano puede realizar su práctica, en este caso el sistema lo guía hacia el laboratorio de electrónica, Cesar inicia su camino hacia las escaleras para descender al sótano 2 y al pasar en frente de sala 1 el sistema le informa que hay computadores disponibles para realizar un informe escrito que tiene pendiente de su curso de constitución política, Cesar lo aplaza y decide continuar su camino, estando en el corredor de sótano 2 el sistema le informa que la próxima semana tiene una práctica de su curso de introducción a la ingeniería en el laboratorio de manufactura que está al lado derecho de donde se encuentra en ese momento. Finalmente Cesar llega al laboratorio de electrónica y se ubica en una de las

mesas frente a una fuente de alimentación, el sistema le informa que en el almacén se encuentran las herramientas necesarias (pinza, pelacables y protoboard) para la realización de su práctica, así que Cesar se dirige al almacén a reclamar las herramientas y al pasar frente al laboratorio de electrónica de potencia y recibe como notificación que debe realizar una práctica de esta materia, también le informa que a los equipos de esta sala se les ha actualizado el software PSPICE, sin embargo Cesar continua su camino y llega al almacén, inmediatamente se le informa que tiene pendiente por entregar dos integrados que hace un mes había solicitado. Por ultimo Cesar puede realizar su práctica.

Una vez planteados los 3 escenarios, se eligió al sótano de la universidad Autonoma de Occidente como el más viable debido a la facilidad de implementación del sistema, el fácil acceso por parte de nosotros mientras desarrollábamos la aplicación ya que este es un espacio de libre ingreso para los estudiantes y que es un espacio en donde no hay cobertura de la señal de posicionamiento global (GPS) ni de redes móviles.

Estos escenarios están propuestos solo para la implementación del prototipo de la aplicación, pero una vez este se termine y se corrijan los errores, la aplicación será capaz de emplearse para cualquier otro espacio.

8.2 PLATAFORMA

Actualmente la implementación de beacons se maneja desde las 2 plataformas móviles de mayor cuota de mercado: iOS y Android.

8.2.1 IOS. Fueron los primeros en introducir el concepto de beacons al mercado, de manera que tienen una ventaja con respecto a Android debido a que su desarrollo lleva más tiempo en fase funcional y de esta manera han podido corregir errores e ir avanzando.

8.2.2 iBeacon. iBeacon es el protocolo de Apple que relaciona los transmisores de bajo consumo (Beacon) con dispositivos móviles. Se introdujo por primera vez en 2013 junto a la presentación de iOS 7 como una tecnología capaz de prestar servicios contextuales, principalmente publicidad; Por ejemplo el envío de notificaciones push a clientes potenciales que pasan por una tienda a determinada cercanía del Beacon.

8.2.3 Android. Dado que en Android no hay librería generalizada para esto, la empresa Radius Network se ha tomado el trabajo de desarrollar un estándar y de esta manera permiten a los desarrolladores implementar la librería AltBeacon para sus aplicaciones permitiendo la interoperabilidad entre beacons de diferentes compañías con parámetros diferentes, haciéndola más versátil que el estándar iBeacon.

8.2.4 AltBeacon. Los principales objetivos del desarrollo de la especificación AltBeacon son:

- Proveer un mensaje publicitario conciso para intercambiar información entre los anunciantes (emisor) y los escáneres (receptor).
- Mantener el cumplimiento de la especificación Bluetooth Smart (4.0) utilizando publicidad PDU (Protocol Data Unit) y empleando estructuras predefinidas.
- Fomentar la adopción del estándar por todas las partes interesadas de manera que se eviten restricciones en la implementación.
- Si es posible, habilitar funciones específicas para cada proveedor para la implementación.

Radius Network provee toda la información necesaria para el desarrollo de una aplicación que implemente la librería AltBeacon, incluyendo ejemplos, foros y el debido javadoc.

8.3 ENTORNO INTEGRADO DE PROGRAMACIÓN (IDE)

Un IDE es una aplicación en donde se reúnen todas las herramientas necesarias de programación, que incluyen un editor de texto (para realizar el código), un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI).

Para el desarrollo de aplicaciones Android, se cuenta con un IDE dedicado que es Android Studio y otros como ECLIPSE que cuentan con un complemento (plugin)

llamado Android Development Tools (ADT) que provee un entorno completo para desarrollar las aplicaciones.

8.3.1 Android Studio. Android estudio es el Entono Integrado de Programación (IDE) oficial para el desarrollo de aplicaciones Android⁴³. Es desarrollado por Google y provee a los desarrolladores de una aplicación completa y robusta para que encuentren todo lo que necesitan en un solo sitio.

La principal razón por la que esta no fue la opción seleccionada para realizar la aplicación es debido a que en el momento de empezar el código, Android Studio se encontraba en etapa BETA, lo que quiere decir que se podía utilizar pero contenía errores y bugs que dificultaban la compilación del programa desarrollado de manera correcta.

A partir de los primeros días de diciembre de 2014, google liberó la versión 1.0 de Android Studio, por lo que futuros desarrollos de esta aplicación serán realizados ahí.

8.3.2 Eclipse. Eclipse es una herramienta de programación de código abierto multiplataforma en el que se han basado múltiples entornos de desarrollos integrados (IDE) como el de JAVA (Java Development Toolkit JDT) o el de Android (ADT).

Hasta hace poco (antes de que google liberara la versión 1.0 de Android Studio) Eclipse era la aplicación oficial para el desarrollo de aplicaciones Android, por lo que cuenta con mucha documentación.

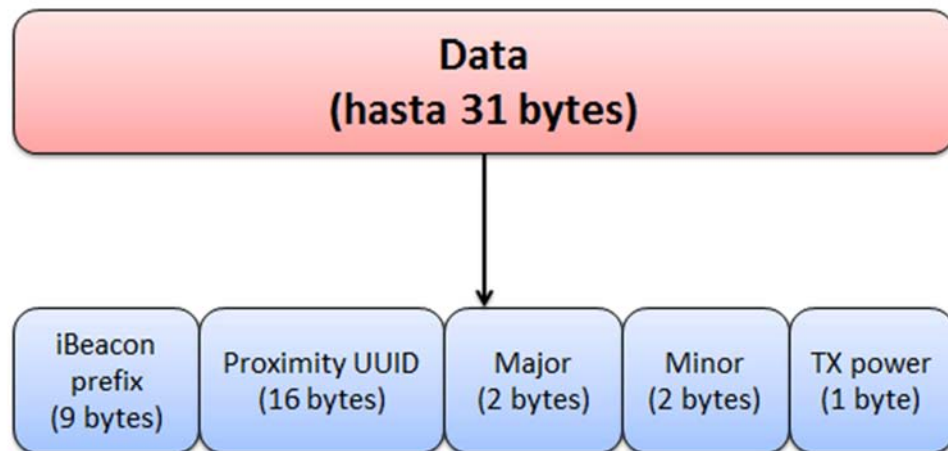
8.4 TECNOLOGÍA EMPLEADA (BEACONS)

Luego de haber elegido a los beacons como tecnología a implementar, se procede a complementar la información consignada en el marco teórico, explicándolos de manera más completa la arquitectura de la información que es proporcionada por este tipo de dispositivos y su funcionamiento.

⁴³ Android studio overview [en línea]. Android Developers, 2015. [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://developer.android.com/tools/studio/index.html> .

8.4.1 Arquitectura del paquete de datos. El paquete de datos que envían los Beacons está compuesto por 5 campos. Se puede observar en la figura 11 la manera en que se encuentran distribuidos.

Figura 11. Paquete de datos que envía un Beacon



Fuente: How do iBeacons work? [en línea]. Blog of Adam Warski, 2015. [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.warski.org/blog/2014/01/how-ibeacons-work/>.

A continuación se describen cada uno de los campos que componen el paquete de datos transmitido por los Beacons⁴⁴⁻⁴⁵:

- **iBeacon prefix:** Corresponde a un prefijo pre asignado que sirve para identificar a la empresa que ha fabricado el Beacon.
- **Proximity UUID:** Se dice que el UUID (Universally Unique Identifier) es el valor más importante que entregan los Beacons, debido a que este es su identificador. Esta es una cadena de 16 bytes. Generalmente se asocia una región completa

⁴⁴ What is iBeacon? A Guide to Beacons [en línea]. iBeacon.com Insider. 2015. [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.ibeacon.com/what-is-ibeacon-a-guide-to-beacons/>

⁴⁵ GAST, Matthew S. Building Applications with iBeacon: Proximity and Location Services with [en línea]. Google Libros. 2015. [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=JiuiBAAAQBAJ&pg=PA13&lpg=PA13&dq=ibeacon+protocol&source=bl&ots=F3jorPCsPw&sig=rELQaqeMCriKqmOQ3Z7Vwl1tWTs&hl=es&sa=X&ei=tEGsVMLBNcWkgwTXyIH4DQ&ved=0CHIQ6AEwCDgK#v=onepage&q=ibeacon%20protocol&f=false>

con un mismo UUID de manera que cuando la aplicación reconozca un varios Beacons con el mismo identificador, lo compare con la base de datos y sepa que todos se encuentran en el mismo espacio.

- **Major:** Este campo es una cadena de 2 bytes que caracteriza a un subconjunto más pequeño de Beacons en el grupo más grande. Este valor sirve para identificar la acción que debe tomar el Beacon cuando se encuentra a una distancia “lejana” (generalmente corresponde a 6 metros).
- **Minor:** Al igual que el Major, este campo es una cadena de 2 bytes. Es un valor que representa un identificador del Beacon que pretende su identificación de forma individual y sirve cuando el usuario este en una distancia corta (mejor a un metro o 30cm dependiendo de la configuración).
- **TX power:** Es el valor de potencia con el que está configurado el Beacon para emitir las señales de radio. Se utiliza para determinar la distancia del Beacon. Todos estos parámetros son configurables desde software (a excepción del prefijo) y le permiten al programador prestar servicios basados en la proximidad del usuario con los Beacons.

8.4.2 Funcionamiento. Los dispositivos móviles reciben la señal emitida por el Beacon (vía bluetooth 4.0) permitiendo realizar acciones tanto de localización como de notificación. Gracias a esta nueva tecnología de bajo consumo y bajo coste, se pueden desarrollar Apps que tengan la funcionalidad o precisen de posicionamiento en interiores, así como de comunicación contextual mediante notificaciones *push*.

Los Beacons permiten crear una infraestructura de localización inteligente proporcionando información contextual para los usuarios en el entorno en el que se encuentran o por el que transitan. Esto permite obtener información localizada y contextual que permite o ayuda tomar de decisiones. Para ello utilizan dos conceptos clave:

- **Geolocalización:** Permite localizar a los dispositivos móviles que reciben su señal y les facilita la distancia a la que se encuentra ese Beacon. Por tanto, se puede determinar su posición triangulando la señal o mediante sus coordenadas polares, con lo que se resuelven los problemas de localización por GPS. Adicionalmente permiten implementar un perímetro virtual alrededor de una zona

(geo-valla) para habilitar notificaciones y posibilitar la realización de acciones por parte de los usuarios de la App sólo en determinados lugares.

- Comunicación contextual: La señal de los Beacons permite 'lanzar' acciones en Apps que pueden ser generales o específicas y que se apliquen a un usuario en concreto o a un conjunto de usuarios. Esto permite nuevos métodos de interacción con los usuarios en un espacio físico determinado: realizar acciones de comunicación con un usuario, en un lugar, en un instante y ante un evento concreto.⁴⁶

El proceso paso a paso y de manera general que permite explicar cómo funcionan y lo que en realidad los Beacons hacen es el siguiente:

- En primera instancia el Beacon se encuentra transmitiendo una señal de radio continua.
- Esta señal es detectada por el dispositivo inteligente más cercano por medio de Bluetooth Smart.
- Luego la señal le indica al dispositivo inteligente “estoy aquí”, dándole su número de identificación, que se explicó en el apartado anterior.
- Seguidamente el dispositivo inteligente envía el número de identificación que obtuvo de la señal al servidor en la nube.
- Por último el servidor chequea que acción ha sido asignada a este número de identificación y responde⁴⁷:

8.5 SELECCIÓN DE BEACONS

Un beacon es por definición una baliza encargada de emitir un paquete de datos preestablecido cada determinado periodo de tiempo. El punto diferenciador, es

⁴⁶ Beacons: La comunicación inteligente - GEOMOBILE "your mobile partner", Op. cit. Disponible en Internet: <http://www.geomobile.es/idi-beacons.php>

⁴⁷ Infographic: what are beacons and what they do?. 2015. *Infographic: what are beacons and what they do?*. [en línea]. Disponible en: <http://kontakt.io/blog/infographic-beacons/> [consultado el 07 de enero 2015].

que por medio del uso de bluetooth 4.0, estos dispositivos pueden tener una autonomía de más de un año sin cambiar de batería (dependiendo de ciertos parámetros internos como la intensidad de la señal y el periodo de emisión de información), por lo que fue necesario realizar indagar acerca de diferencias entre las empresas que desarrollan esta tecnología, teniendo como base que aunque pueden usar el mismo chip bluetooth (normalmente de Texas Instruments o Nordic Semiconductors), pueden ofrecer ventajas o desventajas diferentes que se basan en el know-how de cada empresa, como es el alcance máximo, la optimización de su circuito que se verá reflejada en la autonomía de la batería, entre otros.

A continuación se presenta un cuadro con las principales diferencias entre varios de los desarrolladores de beacons del momento.

Cuadro 10. Principales diferencias entre Beacons de diferentes fabricantes

	Bleduino	BlueFruit LE	Ligthblue Bean	StickNfind	Beacon Inside	Kontakt.io	RioRand	TagBeacon	Estimote
Alcance (m)	30.48 - 91.44	10	24 - 30	30	0 - 40	70	70		70
Android	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	-	SI
IOS	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Precio (dolares)	-	20	28,50-30	25	25	25	15	15,9	33
Dur. Batería	-	-	1 año	1 año	1 año	2 - 3 años	-	950mAh	<5 años
Intercambia batería	-	-	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
ibeacon	-	-	SI	SI	SI	SI	-		SI
País	Puerto Rico	USA	USA	USA	Alemania	Polonia	Canada	China	Polonia

Con base en esto, se da por entendido que los 2 mejores Beacons por su fácil manejo y versatilidad son Kontakt.io y Estimote, además de que son los más implementados a nivel mundial en el momento, por lo que contienen una documentación completa.

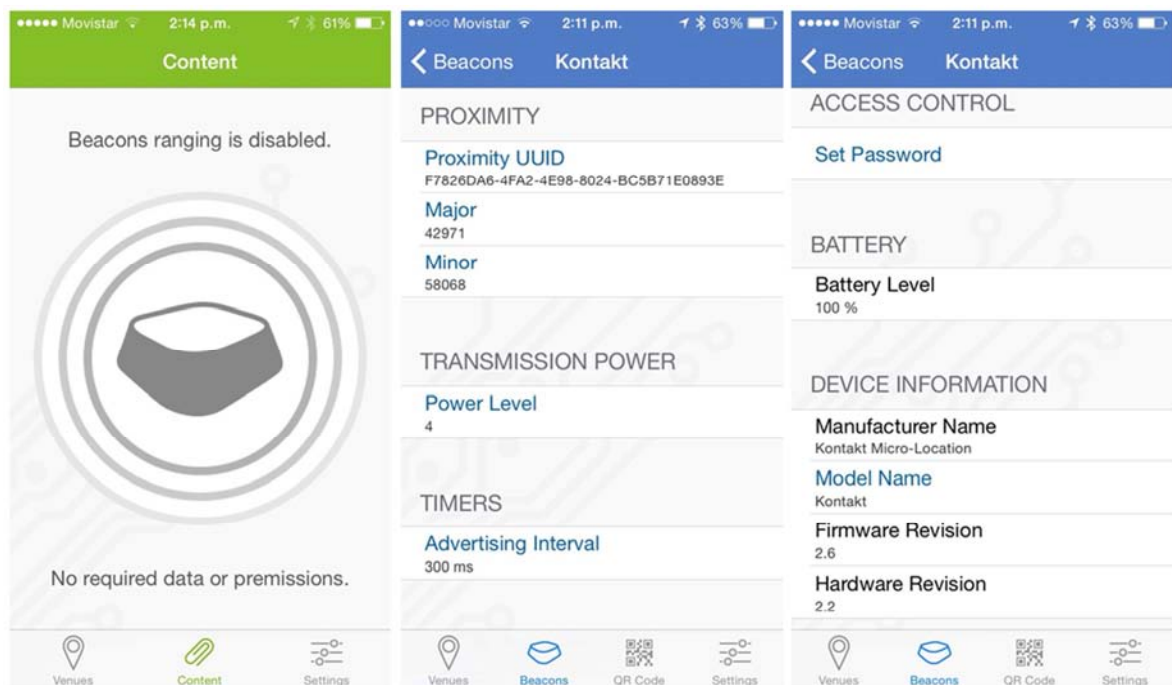
Para la configuración de los beacons, es necesario acceder a la aplicación del propietario de manera que se puedan reasignar los valores *UUID*, *Major* y *Minor* (definidos anteriormente) si así se desea. Así mismo, se puede aumentar o disminuir la intensidad de la señal y el intervalo con el que se envían los datos.

8.5.1 Kontakt. Actualmente, los beacons de la empresa Kontakt.io son unos de los más usados del mercado debido principalmente a su versatilidad. Adicionalmente, la empresa ha estado en constante crecimiento, cumpliendo las fechas propuestas para la liberación de software y actualizando los existentes.

De acuerdo a la hoja de datos proporcionada por la empresa, los beacons funcionan hasta 2 años con la configuración predeterminada y hasta 6 meses con el perfil iBeacon (intervalo de 100ms), teniendo en cuenta que ellos funcionan las 24 horas del día. La distancia máxima en la que trabajan es de 70m, pero este valor se ve comprometido seriamente cuando se trabajan en un ambiente con obstáculos, con ruido electromagnético y con gran flujo de personas.

Se debe tener en cuenta que en el momento de realizar esta implementación, los beacons kontakt.io solo pueden ser configurados desde un dispositivo iOS debido a que la aplicación para Android no ha salido al mercado aun. En la figura 12 se muestra la aplicación con todas las opciones de configuración disponibles.

Figura 12. Aplicación Kontakt.io para iOS



8.5.2 Estimote. Estimote es junto a Kontakt.io una de las empresas más reconocidas a nivel mundial en el desarrollo de Beacons, especialmente porque ellos han integrado más sensores a sus diseños (acelerómetro y sensor de temperatura), convirtiéndolos en una solución más completa y versátil. Además de esto, intentan estar a la vanguardia empleando diseños llamativos como se ve en la figura 13.

Figura 13. Estimote Beacon



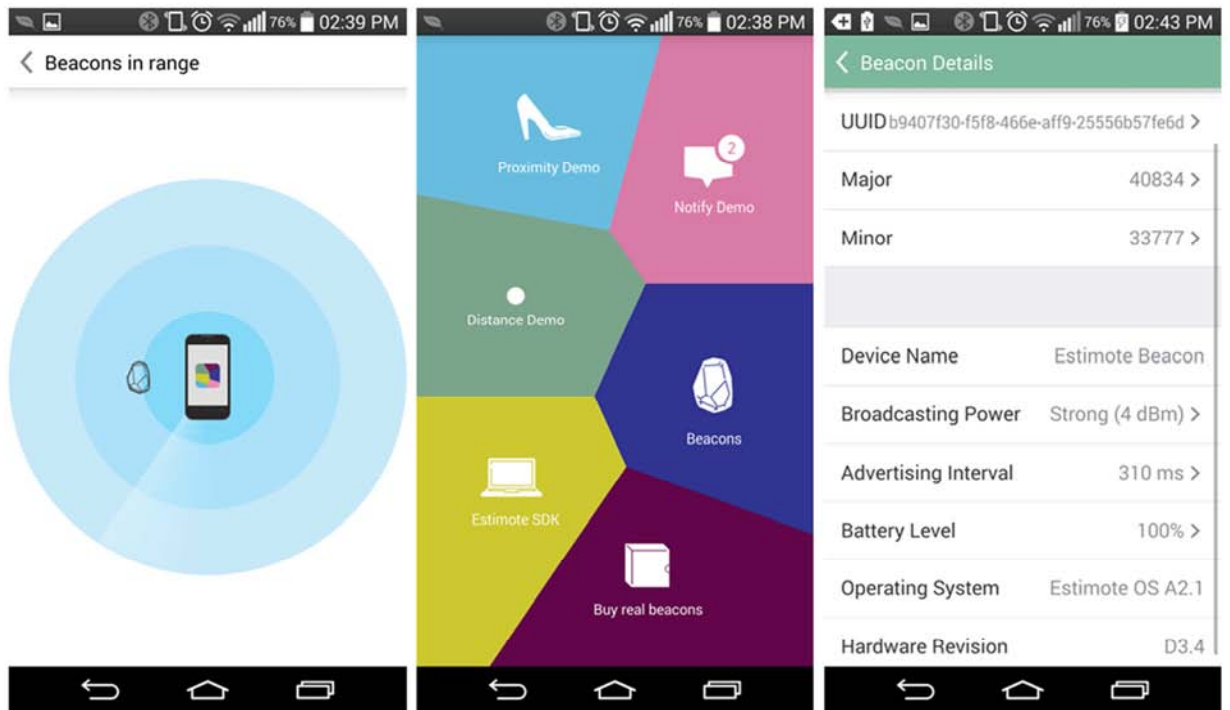
Fuente: Estimote Beacons — Press Kit [en línea]. *Estimote*, 2015. [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://estimote.com/estimote-press-kit.html>.

El mayor inconveniente de esta empresa es que gran parte del soporte prestado por ellos se va orientado hacia iOS, siendo esto un factor determinante para elegir los beacons de la empresa Kontakt para la implementación del sistema.

A pesar de esto, ellos proveen un SDK de Android lo suficientemente completo para realizar una implementación en esta plataforma, por lo que también fueron adquiridos para realizar pruebas y se tienen a disposición como segunda opción. Su tabla de datos es similar a la que provee Kontakt (adicionando los sensores de movimiento y temperatura), debido principalmente a que emplean el mismo procesador ARM M0 cortex.

La aplicación para la configuración de los beacons se encuentra disponible para Android y provee las mismas configuraciones que Kontakt como se ve en la figura 14, permitiendo modificar los parámetros necesarios para el desarrollo de la aplicación.

Figura 14. Aplicación Estimote para Android



9. DESARROLLO LÓGICO PRELIMINAR

El primer paso para el desarrollo de la aplicación se ve reflejado en el proceso de digitalización del espacio físico en donde se va a implementar el sistema de localización. Luego de esto, se debe determinar si se está en la región deseada, para a partir de esto proceder a descifrar la información proporcionada por el paquete de datos enviado por los beacons. A continuación se explica más detalladamente cada paso de este proceso.

9.1 DIGITALIZACIÓN DEL ESPACIO A TRABAJAR

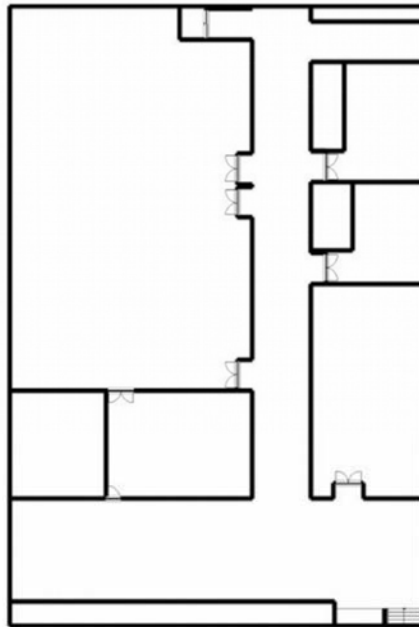
Luego de haber escogido el escenario, se genera una problemática relacionada con la generación del plano de planta del espacio físico necesario para trabajar en la aplicación, por lo que fue necesario buscar diferentes soluciones para esto.

Actualmente hay aplicaciones que resuelven este problema haciendo uso de herramientas proporcionadas por los mismos dispositivos, como lo son:

- Sensores embebidos de los dispositivos móviles:
 - Generación de un mapa a partir de las variaciones del campo magnético del espacio a trabajar.
 - Por medio del uso del giroscopio y podómetro del celular se mapea el espacio físico a partir llevan a cabo.
- Redes inalámbricas: Se realiza por medio de fingerprinting en donde se guardan ciertos puntos de referencia para generar los límites del espacio, pero su implementación está atada a iOS, por lo que fue necesario aproximarse a este tema de una manera diferente. Para el momento en que se desarrolló este trabajo, la empresa indoo.rs se encuentra desarrollando una aplicación Android para el reconocimiento de espacios físicos que permita generar un mapa de manera más dinámica, el cual se puede integrar a la aplicación a desarrollar por medio del SDK propio de dicha empresa.

En la aplicación desarrollada para este trabajo de grado, se implementó el mapa utilizando la aplicación FloorPlanner⁴⁸, que permite dibujar planos de planta a partir de medidas reales, por lo que fue necesario ir al espacio correspondiente al escenario elegido y hacer el debido reconocimiento de manera manual. El resultado se puede observar en la figura 15.

Figura 15. Plano de planta de sótano 2 en el área del laboratorio de electrónica



9.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS BEACONS

Este proceso consiste en dotar a la aplicación con la capacidad de encontrar beacons para una determinada región previamente asignada. Para esto se incorporó a la aplicación la librería AltBeacon que proporciona complementos que simplifican el proceso de identificación de los beacons y le permite a la aplicación reconocerlos como un objeto Beacon y no como dispositivos bluetooth 4.0 genéricos.

Durante el desarrollo de la aplicación, lo primero a tener en cuenta, es que debe generarse una actividad (cada pantalla de la aplicación que puede ver el usuario,

⁴⁸ Create floor plans, house plans and home plans online with [en línea]. Floorplanner.com, 2015 [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.floorplanner.com/>

compuesta tanto por parte lógica como gráfica) que contenga un objeto de la clase *BeaconManager*.

```
BeaconManager mBeaconManager = BeaconManager.getInstanceForApplication(this);
```

Este será el encargado de manejar las interacciones de las actividades y servicios con los beacons. Además de esto, sirve para configurar parámetros como el tiempo entre búsqueda de beacons, que tipo de beacons reconocer (estén o no configurados con la especificación AltBeacon), entre otros.

Es necesario crear la región en donde se va a implementar la localización con los beacons, por lo que se crea de manera general por medio de la clase *Region*.

```
Region mAllBeaconsRegion = new Region("Sotano", null, null, null);
```

Si se desea que la aplicación empiece a “escuchar” beacons en el momento que es dispositivo se encienda (y se abra por primera vez la app), es necesario crear un objeto de la clase *RegionBootstrap*.

```
RegionBootstrap mRegionBootstrap = new RegionBootstrap(this, mAllBeaconsRegion);
```

De esta manera, la aplicación queda a la espera de los beacons en todo momento, de manera que cuando encuentre uno y determine que entro a una región, se genere una acción previamente configurada (una notificación, iniciar una actividad, entre otros).

Se debe implementar una segunda clase de monitoreo, la cual sigue una lógica en función de cumplir con un buen funcionamiento de la aplicación.

Lo primero deberá ser verificar que el dispositivo soporte bluetooth 4.0 y que se encuentre habilitado, lo que se hace mediante el método *checkAvailability()* de la clase *BeaconManager*, el cual retorna un valor booleano correspondiente al estado actual del bluetooth del dispositivo. Se debe tener en cuenta que en caso que BLE no este soportado, se generara una excepción que deberá ser capturada mostrando un mensaje al usuario con el problema encontrado y cerrando la aplicación.

Luego de esto, se comprueba de manera constante si se entra a una región o se sale de esta, para determinar las acciones que se deben realizar dependiendo de la región en la que esté. En el caso de la aplicación desarrollada para el trabajo de grado, solo se contiene una región: “sótano”, pero se deja abierta la posibilidad de agregar más de ser necesario.

9.3 LECTURA E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El funcionamiento de los Beacons se basa en la emisión de un pequeño paquete de datos cada determinado periodo de tiempo, por lo que la aplicación desarrollada debe ser capaz de leer estos datos periódicamente de manera que la información se mantenga actualizada.

Como se mencionó en el apartado anterior, el periodo en que la aplicación actualiza la información de los beacons se determina por el desarrollador por medio del objeto creado a partir de la clase *BeaconManager*.

```
mBeaconManager.setForegroundBetweenScanPeriod(INSIDE);
```

Este método determina la duración en milisegundos entre cada ciclo de escaneo en búsqueda de Beacons, así mismo refrescando la información de los ya encontrados.

La lectura de la información se hará una vez los beacons hayan sido encontrados, por lo que debe ser en la clase que trabajara los datos para realizar la localización o la actividad requerida. Para lograr esto, la nueva clase debe implementar el método *didRangeBeaconsInRegion(Collection<Beacon>,Region)*, que será llamado desde la clase principal de la aplicación en el momento que se entre a una región.

```
if (mRangingActivity != null) {mRangingActivity.didRangeBeaconsInRegion(arg0, arg1);}
```

El objeto *mRangingActivity* es un objeto de la clase *RangingActivity* que es la clase creada para realizar parte de la localización, por lo que recibirá los parámetros una vez se esté en esta actividad y el *arg0* (arreglo de beacons) exista.

Una vez se obtiene el arreglo de Beacons, se puede determinar la información particular para cada uno de manera más sencilla, debido a que la librería AltBeacon provee métodos que retornan valores específicos para cada característica del Beacon. A continuación se muestra una lista de los métodos más utilizados para obtener información de los Beacons.

- `getDistance():double` Retorna un valor aproximado de distancia (en metros) entre el beacon y el receptor mediante un promedio de la RSSI y la intensidad con la que la señal está siendo emitida (valor incluido en el paquete de datos enviado por el beacon).
- `getId1():Identifier` Retorna el UUID del beacon en forma de un Identifier.
- `getId2():Identifier` Retorna el Major del beacon en forma de un Identifier.
- `getId3():Identifier` Retorna el Minor del beacon en forma de un Identifier.
- `getManufacturer():int` Retorna un valor de dos bytes indicando la empresa manufacturera del beacon. Se puede ver un cuadro de códigos registrados de empresas en: <https://www.bluetooth.org/en-us/specification/assigned-numbers/company-identifiers>
- `getRSSI():int` Retorna el valor de intensidad de señal con la que se recibió el paquete de datos del beacon.
- `getTxPower():int` Retorna el nivel de intensidad con que la señal es emitida en el beacon.

Cabe denotar que el Smartphone y el Beacon no se conectarán, ya que la tecnología Bluetooth solo permite establecer una conexión de envío de datos a la vez y esto causaría que esta conexión se sature e imposibilite al dispositivo móvil ver a los demás Beacons.

Para entender mejor la manera en que los datos son distribuidos en el paquete emitido por los beacons, se hizo uso de la aplicación BeaconFinder, ya que esta muestra byte a byte la información entregada, tal como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Plano de planta de sótano 2 en el área del laboratorio de electrónica



BeaconFinder							
Data Table.							
Prefix				iBeacon		N/A	
0	02	1	01	2	06	3	1A
	AD Size		AD Type		AD Value		Data Size
4	FF	5	4C	6	00	7	02
	Specific		Company Id		Company Id		BLE Type
8	15	9	F7	10	82	11	6D
	iBeacon Size		UUID		UUID		UUID
12	A6	13	4F	14	A2	15	4E
	UUID		UUID		UUID		UUID
16	98	17	80	18	24	19	BC
	UUID		UUID		UUID		UUID
20	5B	21	71	22	E0	23	89
	UUID		UUID		UUID		UUID
24	3E	25	23	26	7A	27	BF
	UUID		Major		Major		Minor
28	78	29	B3	30	08	31	09
	Minor		TxPower		N/A		N/A
32	4B	33	6F	34	6E	35	74
	N/A		N/A		N/A		N/A
36	61	37	6B	38	74	39	02
	N/A		N/A		N/A		N/A
40	0A	41	F4	42	0A	43	16
	N/A		N/A		N/A		N/A
44	0D	45	D0	46	6D	47	75
	N/A		N/A		N/A		N/A
48	62	49	67	50	32	51	36
	N/A		N/A		N/A		N/A
52	61	53	00	54	00	55	00
	N/A		N/A		N/A		N/A
56	00	57	00	58	00	59	00
	N/A		N/A		N/A		N/A
60	00	61	00				
	N/A		N/A				

10. ALGORITMO A IMPLEMENTAR

Como se explicó anteriormente, existen múltiples algoritmos que se pueden aplicar para el desarrollo de un sistema de localización indoor, pero muchos de ellos causan problema cuando se emplean beacons, debido principalmente a que la señal que emiten es intermitente y esto requeriría que todos fueran activados en sincronía.

Con base a esto, se encontró que la triangulación por el método de lateración era la mejor opción, debido a que este se basa en trazar radios generados con la distancia entre el emisor de la señal (beacon) y el receptor (usuario),

10.1 ADAPTACIÓN DEL ALGORITMO DE LOCALIZACION

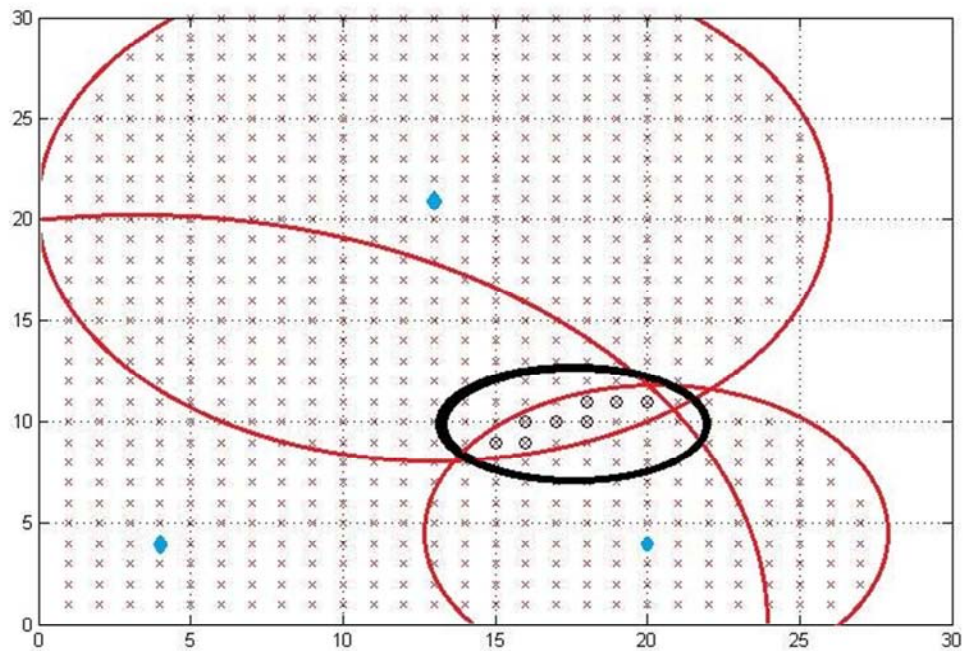
El funcionamiento del algoritmo se basa en las propiedades de los triángulos para hallar las distancias entre el nodo emisor y el nodo receptor, con base a esto generar radios que se intersectan generando un conjunto resultante que determina la localización.

Para desarrollar este algoritmo, se decidió trabajar con matrices debido a su facilidad de ser manipuladas además de tener todas las operaciones básicas entre ellas a disposición.

Las matrices empleadas generan una representación matemática del plano de planta digitalizado que hace referencia al espacio físico determinado por el escenario donde se va a implementar la aplicación.

Primero que todo, se realizó una implementación en Matlab demostrando el funcionamiento del algoritmo con datos ideales como se puede ver en la figura 18. En esta grafica podemos observar una representación de un espacio determinado por medio de una matriz cuadrada de 30x30, en ella se encuentran posicionados 3 Beacons (rombos de color azul), a su vez se crea un radio (x de color rojo) cuyo centro es cada uno de los Beacons, la intersección de los tres radios (círculos negros) representa la ubicación del objetivo (dispositivo móvil).

Figura 17. Diagrama de Matlab mostrando el comportamiento del algoritmo con datos ideales



Luego de ver que la lateración cumplía la función requerida, se procedió a desarrollar el código correspondiente en Eclipse. Primero que todo, se realizó la misma representación que en Matlab y se dejó como una opción para que el usuario vea el funcionamiento de la aplicación sin necesidad de que esta tenga contacto con los beacons.

En la figura 17 se puede apreciar que la persona es localizada con base en la intersección de los radios generados por las distancias de los beacons (siendo estas ideales en esta etapa del desarrollo).

Lo primero a realizar para la implementación del algoritmo es determinar la resolución de la pantalla de manera que se encuentren los límites de trabajo de la aplicación. De esta manera poner definir el tamaño de las matrices con las que se van a trabajar.

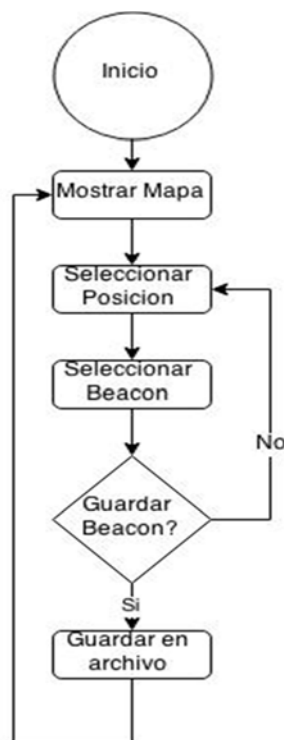
Generación de matrices. En primer lugar se planteó generar matrices del mismo número de pixeles de los limites encontrados, pero dado que la resolución de los dispositivos móviles máxima disponible en el momento es QHD (2560*1440) se

determinó que las matrices quedarían redundantes en estos tamaños y solo se lograría un excesivo gasto de recursos del celular. Por esta razón, se decidió implementar las matrices de un tamaño 10 veces menor al de los límites.

Una vez se tiene el tamaño, se procede a realizar las primeras aproximaciones al algoritmo, las cuales se realizan convirtiendo el plano digitalizado a una matriz para así trabajar las posiciones como puntos en el plano.

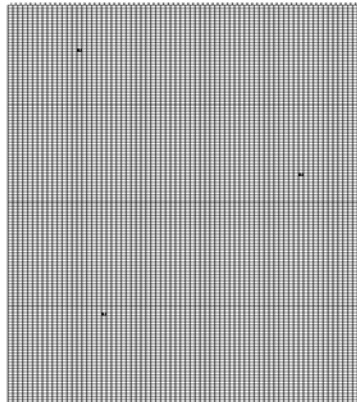
Ubicación de los Beacons. Como primera fase antes del proceso de localización es necesario que el usuario registre la ubicación de los beacons en el espacio físico a través de una utilidad de la aplicación diseñada para tal efecto.

Figura 18. Diagrama de Matlab mostrando el comportamiento del algoritmo con datos ideales



Para esto se implementó una clase adicional que se encarga de mostrar el mapa digitalizado y por medio de eventos le permite al usuario seleccionar el beacon a guardar y así mismo registrarlo en un archivo en la memoria interna del dispositivo, de tal manear que cuando la aplicación se vuelva a abrir, la posición de los beacons quede guardada.

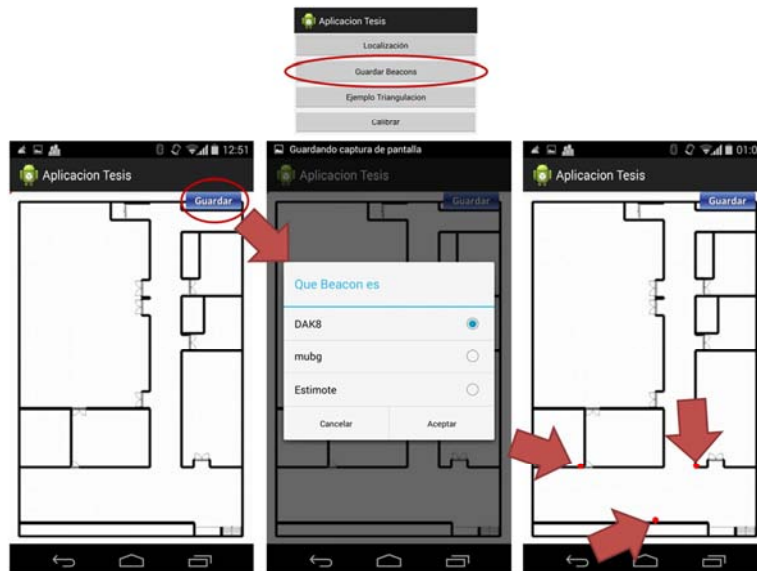
Figura 19. Ubicación de los Beacons en una matriz



Como se muestra en la figura 20, los beacons quedan guardados como celdas en una matriz del tamaño de la resolución de la pantalla multiplicada por un factor de 1/10. Esto se realizó en Excel de manera que se pudiera modificar, y así realizar pruebas de escritorio antes de pasar a la implementación. De esta forma, cada posición de la matriz representa un espacio de 36x36cm.

En la figura 20 se presenta la implementación del proceso de guardado de beacons en la aplicación desarrollada.

Figura 20. Capturas de pantalla de la aplicación en la actividad de guardar beacons

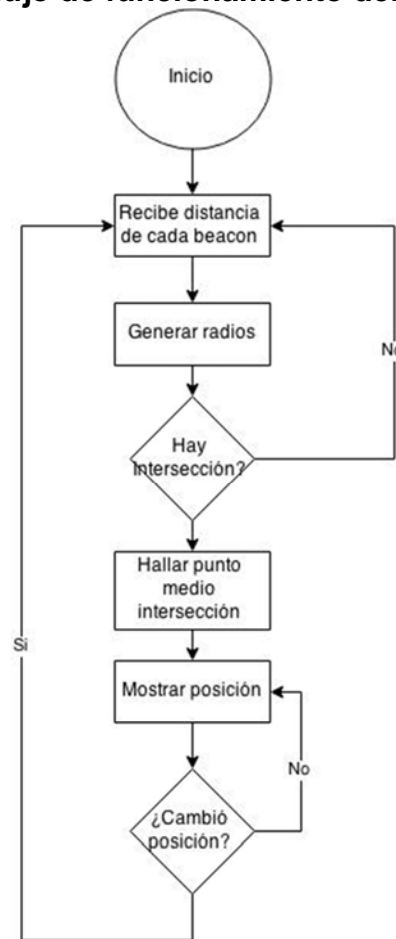


Luego de oprimir el botón “Guardar Beacons” en la pantalla principal de la aplicación, se mostrará el plano de planta donde se podrá seleccionar la ubicación del beacon, después se oprime el botón “Guardar” de la parte superior derecha que permitirá seleccionar el beacon correspondiente, este proceso se lleva a cabo con cada uno de los beacons.

10.2 IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

Luego de obtener las matrices con las que se va a trabajar y a conocer el procedimiento necesario para realizar el algoritmo, se procede a generar el código necesario para su funcionamiento como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 21.

Figura 21. Diagrama de flujo de funcionamiento del algoritmo de localización



De acuerdo al diagrama de flujo de la figura 21, el proceso de generación de radios se realiza por medio de un ciclo que llena una matriz para cada beacon, ocupando solo las posiciones al interior del radio obtenido. Luego de haber realizado esto para los 3 beacons, se procede a computar los resultados hallados, de manera que se genera una cuarta matriz que contenga la información correspondiente a la intersección de los radios.

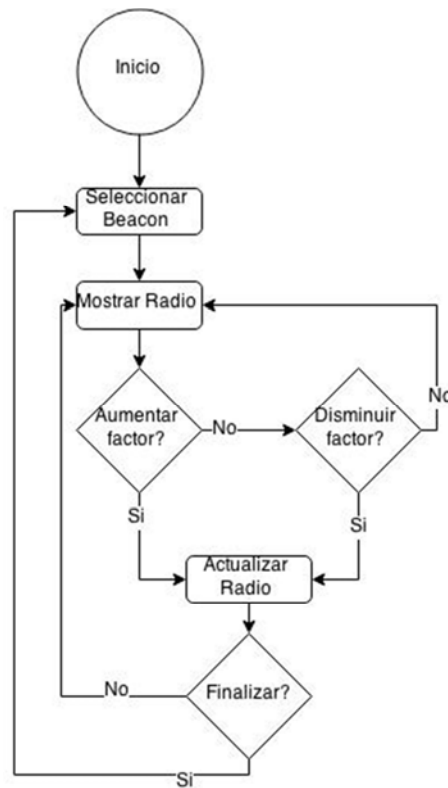
A partir de esto, se procede a determinar la posición central del conjunto de intersección, de manera que se obtenga la posición del usuario en relación con los 3 beacons para luego ser mostrada en pantalla.

10.3 CALIBRACION DEL SISTEMA

La calibración del sistema corresponde al proceso mediante el cual se corrigen los errores iniciales que pueda presentar la aplicación (generados por calibraciones anteriores, perturbaciones en el sistema, entre otros) de manera que esta se ejecute correctamente aun habiendo cambiado parámetros iniciales. De esta manera se proporcionan valores correctos minimizando el error en la formula.

Dicho esto, la calibración de los beacons se rige por el diagrama de flujo mostrado en la figura 23.

Figura 22. Diagrama de flujo para el proceso de calibración



Asociación mapa virtual con medidas reales. Para el proceso de calibración del sistema es necesario determinar la manera en que las medidas del espacio físico real son asociadas con el mapa generado en la aplicación móvil, para esto se dispuso de una fórmula que relaciona los pixeles de la pantalla del celular con las medidas entregadas por los beacons (en metros), de manera que las unidades sobrantes se cancelen.

$$Radio = \frac{distanciaBeacon * 100}{factor}$$

El factor es una variable que representa el valor correspondiente a 1cm en pixeles, y se determina mediante otra regla de 3 en donde se vea relacionada con medidas en el mapa de planta integrado.

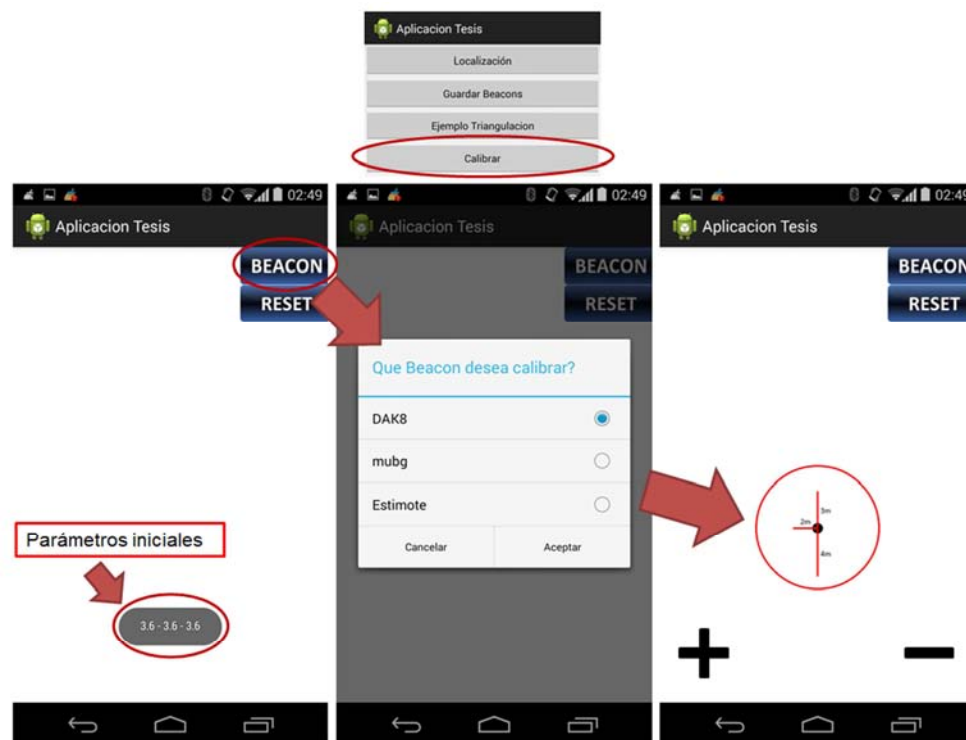
Adicionalmente, se cuenta con que el usuario puede modificar este factor aumentándolo o disminuyéndolo en 0.05 de manera que pueda re-calibrar el

sistema gracias a unas guías que se presentan en la aplicación mostrando la distancia correspondiente a 2, 3 y 4m en relación con el beacon.

Este proceso se puede realizar para cada beacon de manera individual debido a que cada beacon puede estar configurado diferente y esto se puede ver reflejado en el resultado obtenido.

En la figura 23 se puede observar el proceso de calibración que se desarrolló en la aplicación.

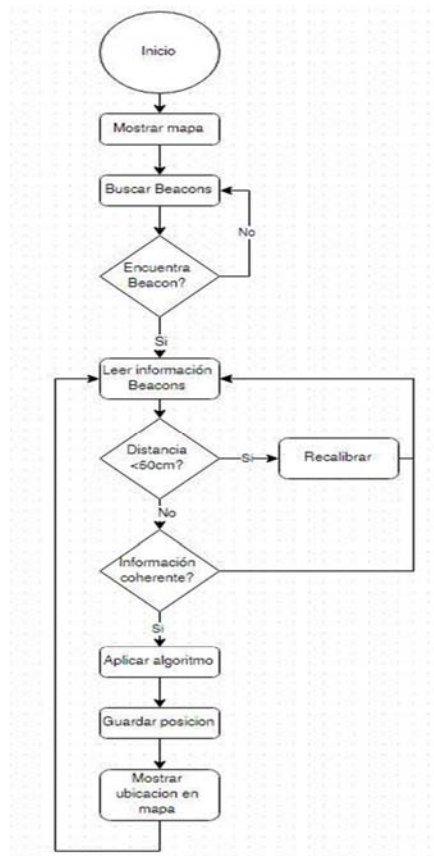
Figura 23. Captura de pantalla de la aplicación en la actividad de calibración de los beacons



10.4 LOCALIZACIÓN USUARIO

Una vez completados los apartados anteriores (digitalización del espacio a trabajar, adaptación del algoritmo y calibración del sistema), se procede a ubicar a la persona portadora del dispositivo móvil en el escenario elegido, siguiendo la lógica que se muestra en la figura 24.

Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de localización

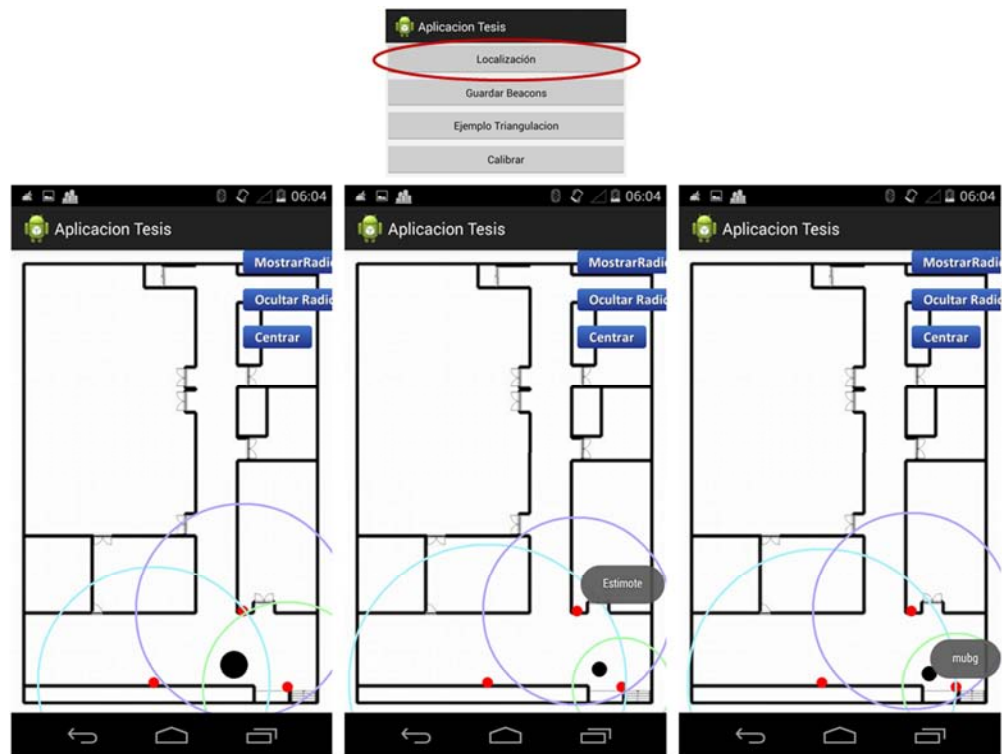


Se debe tener en cuenta que el programa efectúa una validación de la información obtenida de los beacons, determinando si los datos son coherentes o no, para evitar errores en el momento de aplicar el algoritmo de localización, en la siguiente figura se puede observar el diagrama de flujo correspondiente a la función “Aplicar algoritmo”,

En esta etapa del desarrollo, se crea una nueva clase en el programa que se encarga de integrar todo lo que se lleva hasta el momento. De esta manera, se leerán los datos entregados por los beacons para obtener las distancias de la persona a ubicar con respecto a ellos y así mismo generar los radios asociados a cada beacon, encontrando el conjunto intersección y así obtener la ubicación deseada.

En la figura 25 se muestran capturas de pantalla de la aplicación en el apartado de localización.

Figura 25. Captura de pantalla de la aplicación en la actividad de localización del usuario



La aplicación soporta también que el usuario pueda oprimir sobre la ubicación de cada beacon de manera independiente para saber cómo ha sido llamado.

10.5 PROBLEMAS CONOCIDOS

Luego de haber realizado el diseño e implementación del prototipo de la aplicación, se encuentran varios problemas que dificultan un óptimo funcionamiento de la aplicación. La principal razón de esto, es el poco tiempo de adaptación que ha habido hacia la nueva tecnología que se adoptó para el desarrollo del proyecto.

- **Multipath.** Los beacons están programados para emitir información de manera intermitente con un periodo de tiempo modificable por el usuario, lo que quiere decir que la señal es emitida pero no se queda constante, por el contrario se interrumpe para luego volver a ser enviada. Esto genera que la señal tenga la posibilidad de tomar caminos diferentes cada vez que es emitida, generando que

dos o más componentes de la onda de la señal arriben al receptor con una diferencia de fase, generando interferencia que ocasiona errores en la medición.

- **Precisión del sistema.** La precisión con la que el sistema logra la localización se ve directamente asociada al número de beacons con los que se cuenta, por lo que en el momento de realizar una implementación a mayor escala, cubriendo todo el escenario escogido, la precisión se verá mejorada considerablemente, ya que el conjunto resultante del proceso de localización disminuirá su área, concentrándose en un punto.

- **Rango de trabajo.** Los beacons son dispositivos inalámbricos de proximidad, por lo que pueden ser detectados aun a una distancia lejana (70m en campo de visión según las especificaciones del fabricante), pero esto no significa que este sea el rango en que se pueda trabajar, debido a que el funcionamiento del dispositivo dice que a partir de 6m (de acuerdo a las convenciones introducidas para los beacons) es considerado una distancia lejana que sirve para prestar un servicio, lo que hace que las medidas a partir de ahí empiecen a generar inconsistencias que dañan la medida y comprometen los resultados.

11 PRUEBAS

A continuación se presentan pruebas realizadas a la aplicación para verificar su funcionamiento en el escenario escogido. Estas pruebas consistieron en analizar la información proporcionada (por medio de capturas de pantalla) en diferentes intervalos de tiempo para una misma posición, de manera que se pueda observar el error que se genera y así poder obtener el rango efectivo de trabajo, además de comprobar los diferentes métodos de calibración estática y dinámica que se implementaron. Esto se realizó para varias posiciones con 6 diferentes configuraciones de beacons, variando la distancia entre ellos, obstruyendo la línea de visión y cambiando el tipo de beacons empleados.

En las capturas de pantalla que se observaran en el transcurso de este capítulo se hace uso de 3 convenciones para diferenciar los elementos allí consignados.

- Círculo rojo: Representa un beacon
- Círculo gris y negro: Representa la ubicación hallada.
- Equis "X" Roja: Representa la ubicación real en donde se tomaron los datos.

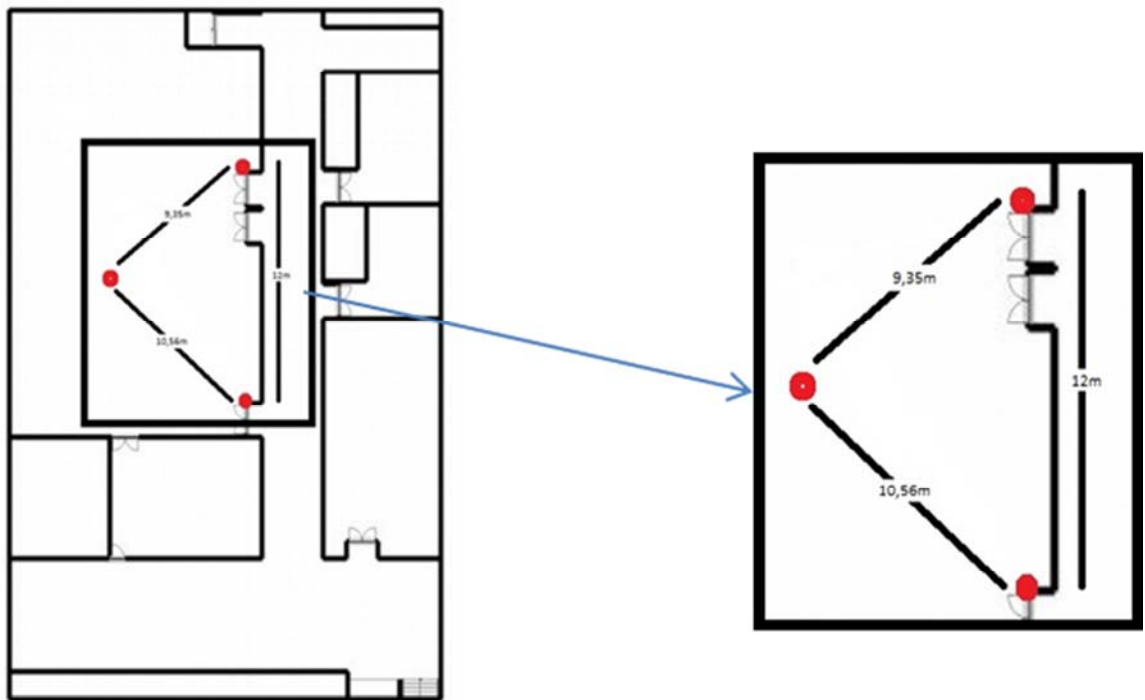
Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos por las pruebas, estas se realizaron con la misma configuración interna de los beacons que se muestra a continuación.

- No. Beacons: 3
- Fabricante: Kontakt y Estimote.
- Orientación: Horizontal, vertical y combinado. (Disposición de los beacons en relación al usuario).
- Intensidad de señal: 4dBm.
- Periodo de emisión de la información: 100ms.

11.1 PRUEBA 1

Para esta prueba se abarcó el área de trabajo del laboratorio de electrónica de la universidad. Se ubican los beacons de tal manera que tengan línea de visión directa hacia el dispositivo móvil (Figura 26 y 27), luego se verifica el funcionamiento de la aplicación ubicándose en diferentes posiciones y realizando varias capturas de pantalla que podemos observar en las figura 28.

Figura 26. Disposición de los Beacons en la prueba 1



En la figura 27 se puede observar la ubicación de los beacons en el escenario escogido.

Figura 27. Ubicación de los Beacons para la prueba 1

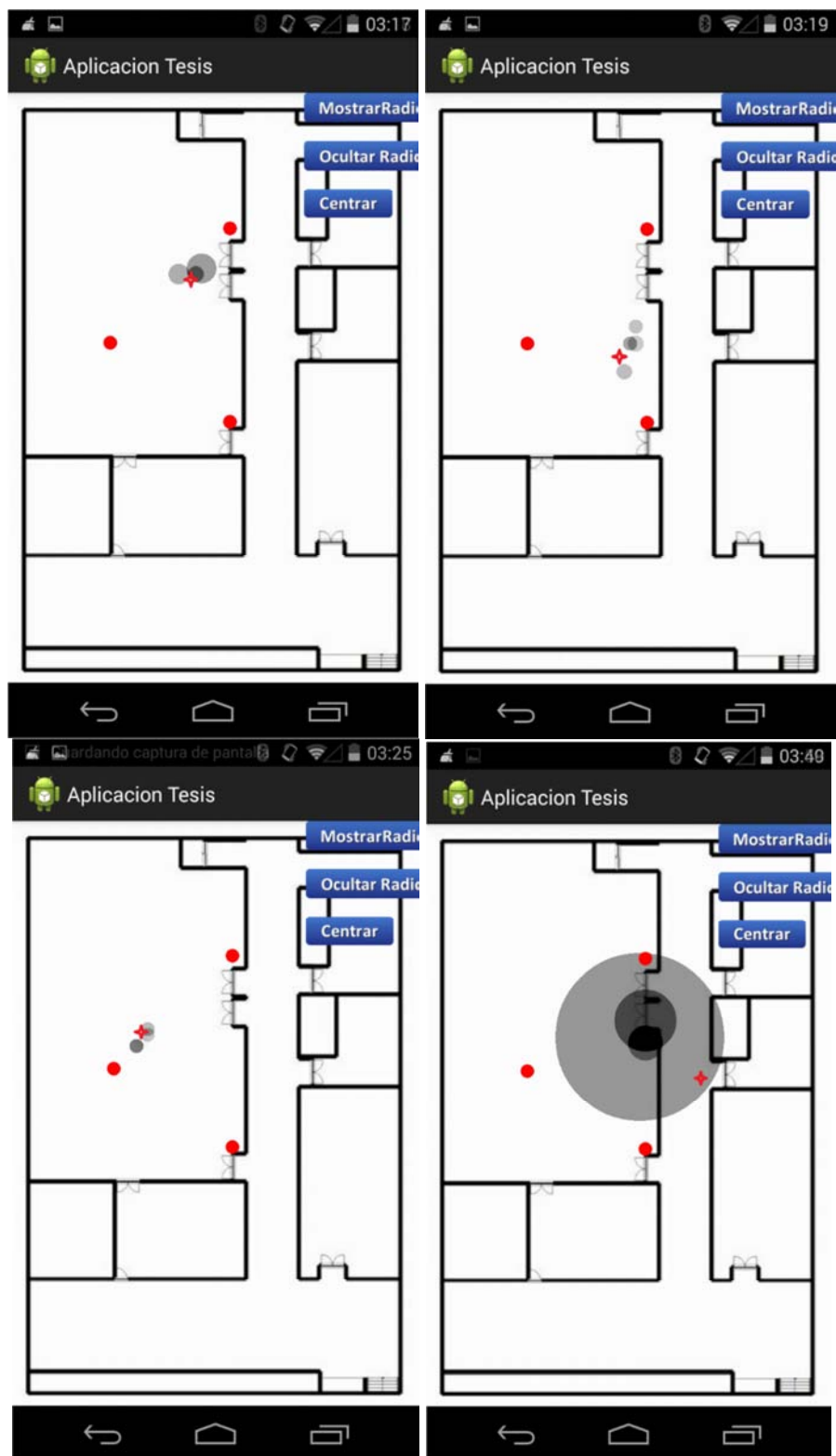


Resultados. La disposición de los beacons permite abarcar un área considerable en el interior del laboratorio, por lo que se decide realizar 4 pruebas incluyendo una en donde se toman datos fuera del espacio comprendido entre los beacons.

Como se puede observar en la figura 28, la ubicación obtenida por la aplicación en el momento en que el usuario se encuentra en el interior del triángulo generado por los beacons es bastante acertada, generando errores menores a 1,5m de diámetro en relación a la ubicación real.

Sin embargo, en el momento en que se realiza la prueba por fuera y con una pared de ladrillo que obstaculiza la línea de visión con los beacons, la aplicación no es capaz de generar una localización adecuada y muestra datos erróneos.

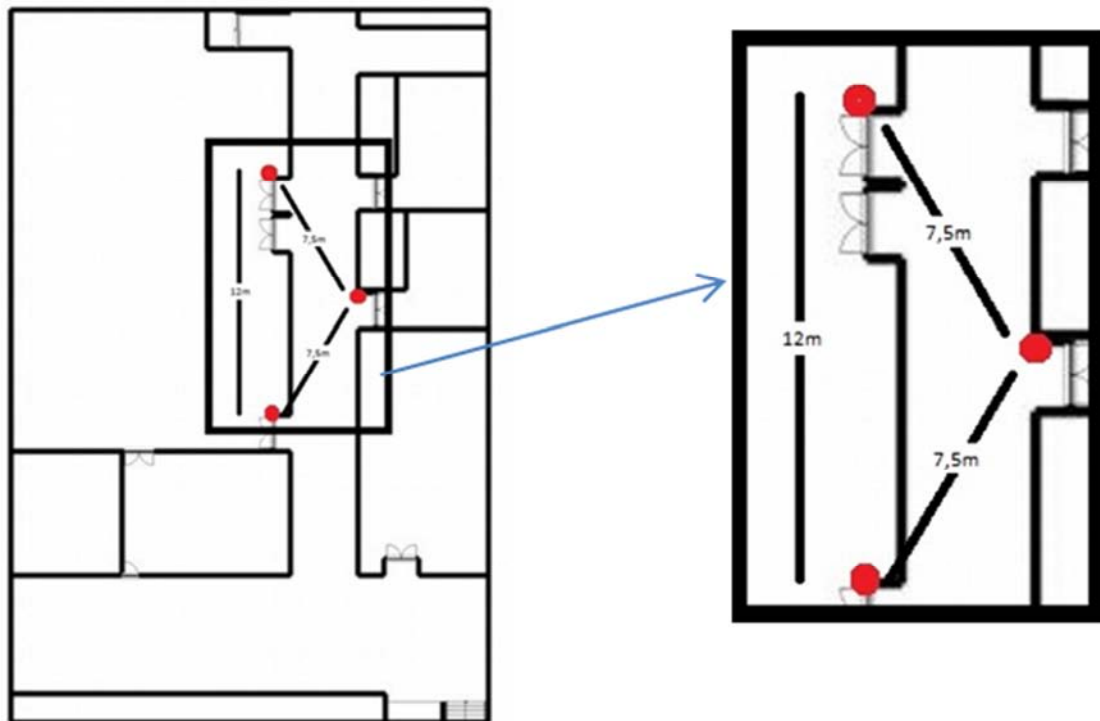
Figura 28. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 1



11.2 PRUEBA 2

Para esta prueba se abarcó el área existente entre la zona de trabajo del laboratorio de electrónica de la universidad y el corredor frente a la entrada del mismo. Se ubican dos beacons en las puertas de la entrada hacia el laboratorio de electrónica de tal manera que el tercer beacon se ubica fuera del laboratorio, es decir en el corredor como se especifica en la (Figura 29 y 30), luego se verifica el funcionamiento de la aplicación ubicándose en diferentes posiciones y realizando varias capturas de pantalla que podemos observar en las figura 31.

Figura 29. Disposición de los Beacons en la prueba 2



En la figura 31 se puede observar la ubicación de los beacons en el escenario escogido.

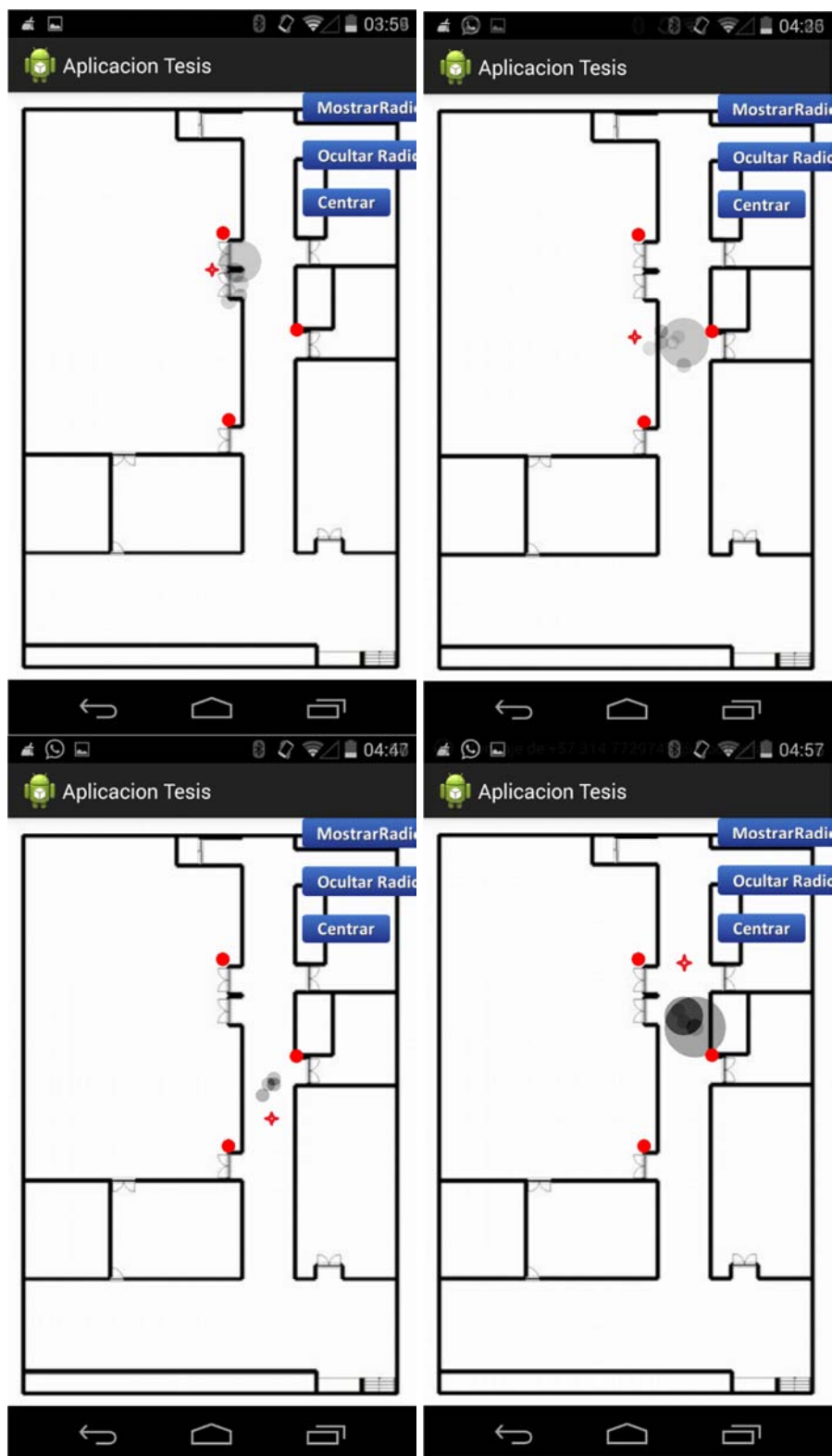
Figura 30. Ubicación de los Beacons para la prueba 2



Resultados. Como se observa en la figura 31, los resultados de esta prueba generan mayor error que en la prueba 1. Esto se debe a que 2 de los beacons no se encuentran en línea de visión con el usuario que se encuentra en diferentes posiciones a través del corredor.

También se hicieron pruebas en donde el dispositivo móvil se encontraba por fuera del triángulo generado por los beacons, y se obtuvo que la posición encontrada es adecuada con 2 beacons, ya que en tres de las posiciones de prueba se tiene un error de 1.5 a 2m causado por la distancia generada por uno de los beacons.

Figura 31. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 2



11.3 PRUEBA 3

Esta prueba consistió en ubicar los beacons de manera que dos de ellos tuvieran una pared de por medio, comprobando la caída de señal que se podía obtener.

La distribución de los beacons se muestra en las figuras 32 y 33.

Figura 32. Disposición de los Beacons en la prueba 3

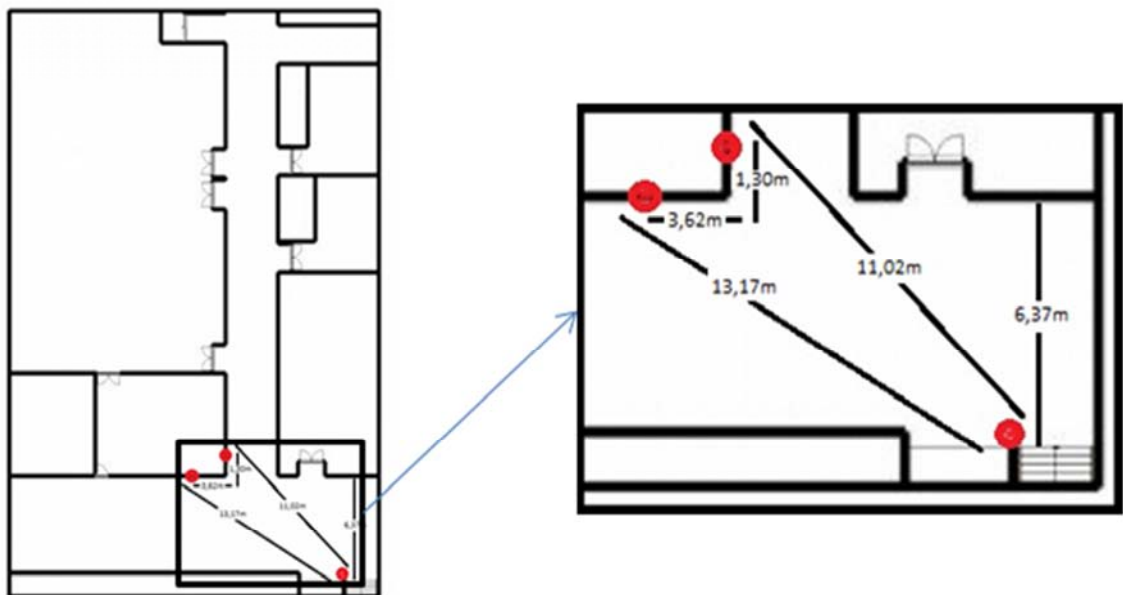


Figura 33. Ubicación de los Beacons para la prueba 3



Resultados. Como se puede observar en la figura 34 se obtiene un buen comportamiento de la aplicación frente a la ubicación del dispositivo móvil en las dos primeras posiciones de prueba.

Por otro lado se verifica el funcionamiento de la aplicación en la tercera posición que es fuera del triángulo abarcado por los beacons y de nuevo se obtiene un error de 1.5m respecto a la ubicación real.

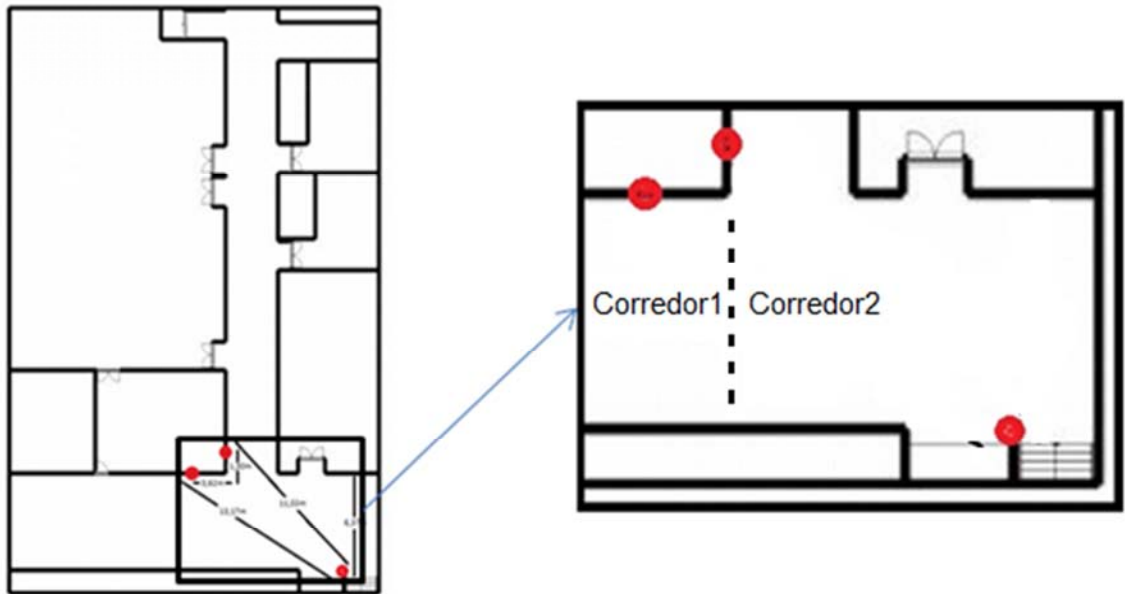
Figura 34. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 3



11.4 PRUEBA 3-1

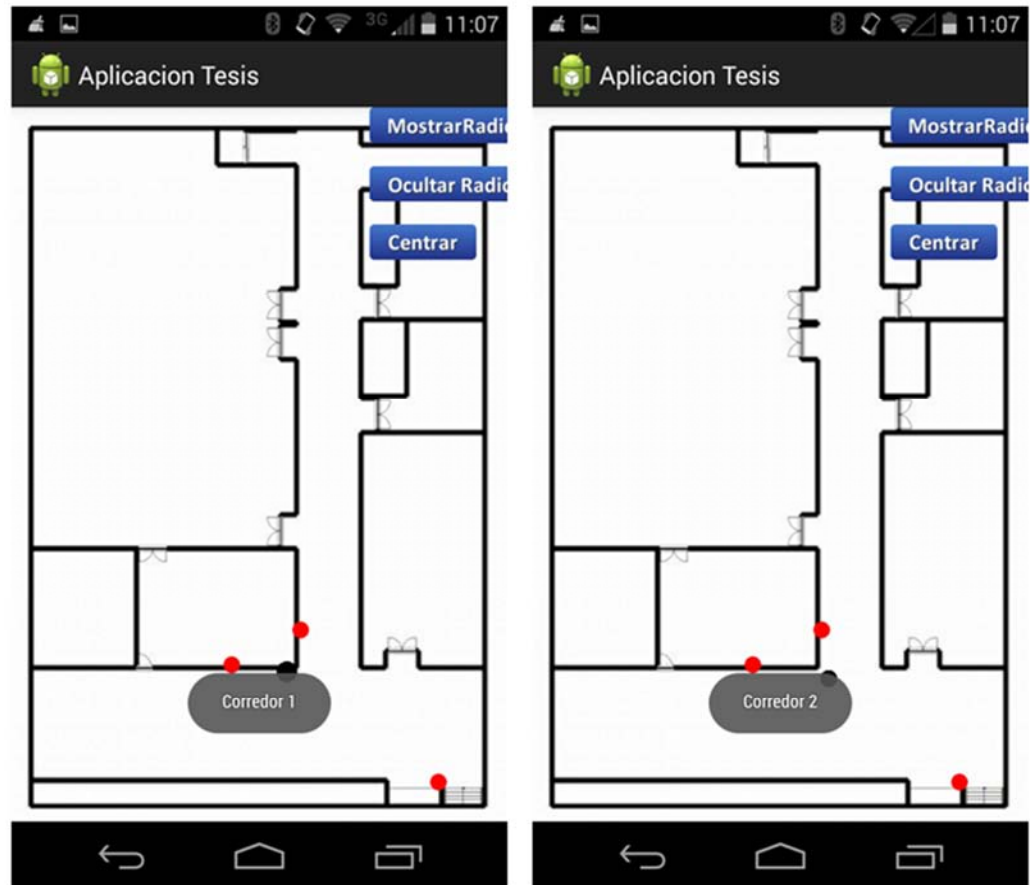
Esta prueba se basa en la prueba 3 con la diferencia que se simularon 2 ubicaciones distintos espacios (Corredor 1 y Corredor 2) como se muestra en la figura 35, de manera que la aplicación reporte al usuario en el momento que cambia su ubicación.

Figura 35. Ubicaciones simuladas en la prueba 3-1



Resultados. En la figura 37 se puede observar el funcionamiento de la aplicación en el momento que detecta que el usuario ha cambiado su posición, mostrando una única vez el nuevo sitio en el que se encuentra y emitiendo un evento gráfico para informar al usuario. Esta información podrá ser usada posteriormente por otra aplicación para la prestación de un servicio en el marco por ejemplo de una solución del tipo ubicuo.

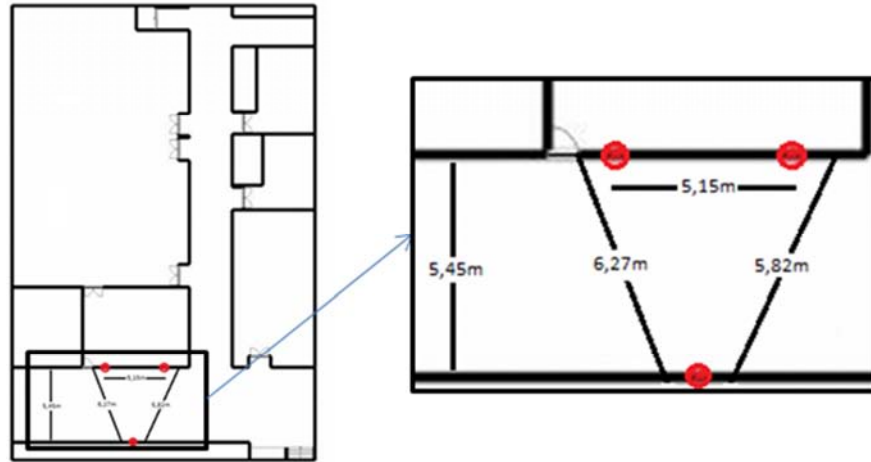
Figura 36. Capturas de pantalla de la aplicación para la prueba 3-1 con las ubicaciones simuladas



11.5 PRUEBA 4

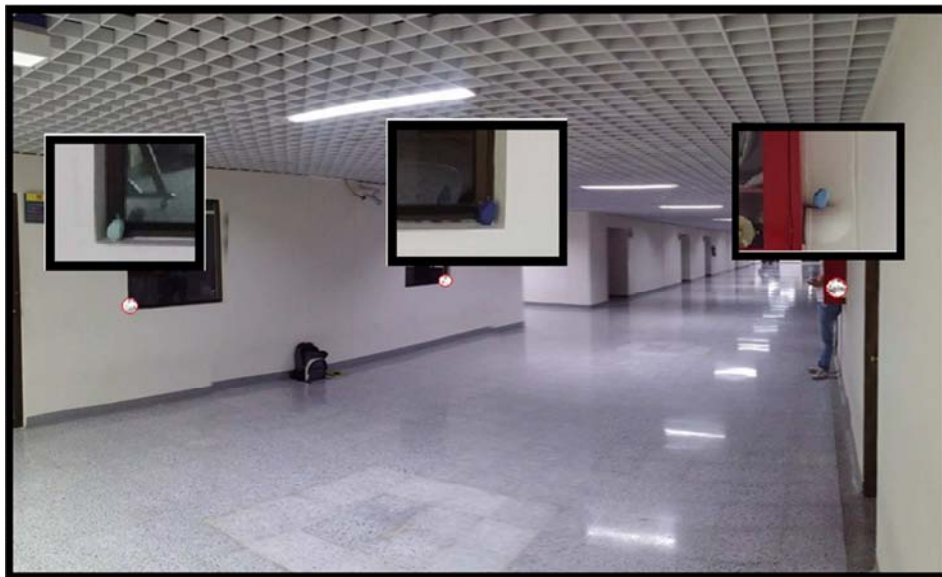
Para esta prueba se abarcó un área pequeña (14m^2), la cual esta demarcada por las 2 paredes que definen el corredor entre la sala de dibujo y las bodegas de sótano 2. (Figura 37)

Figura 37. Disposición de los Beacons en la prueba 4



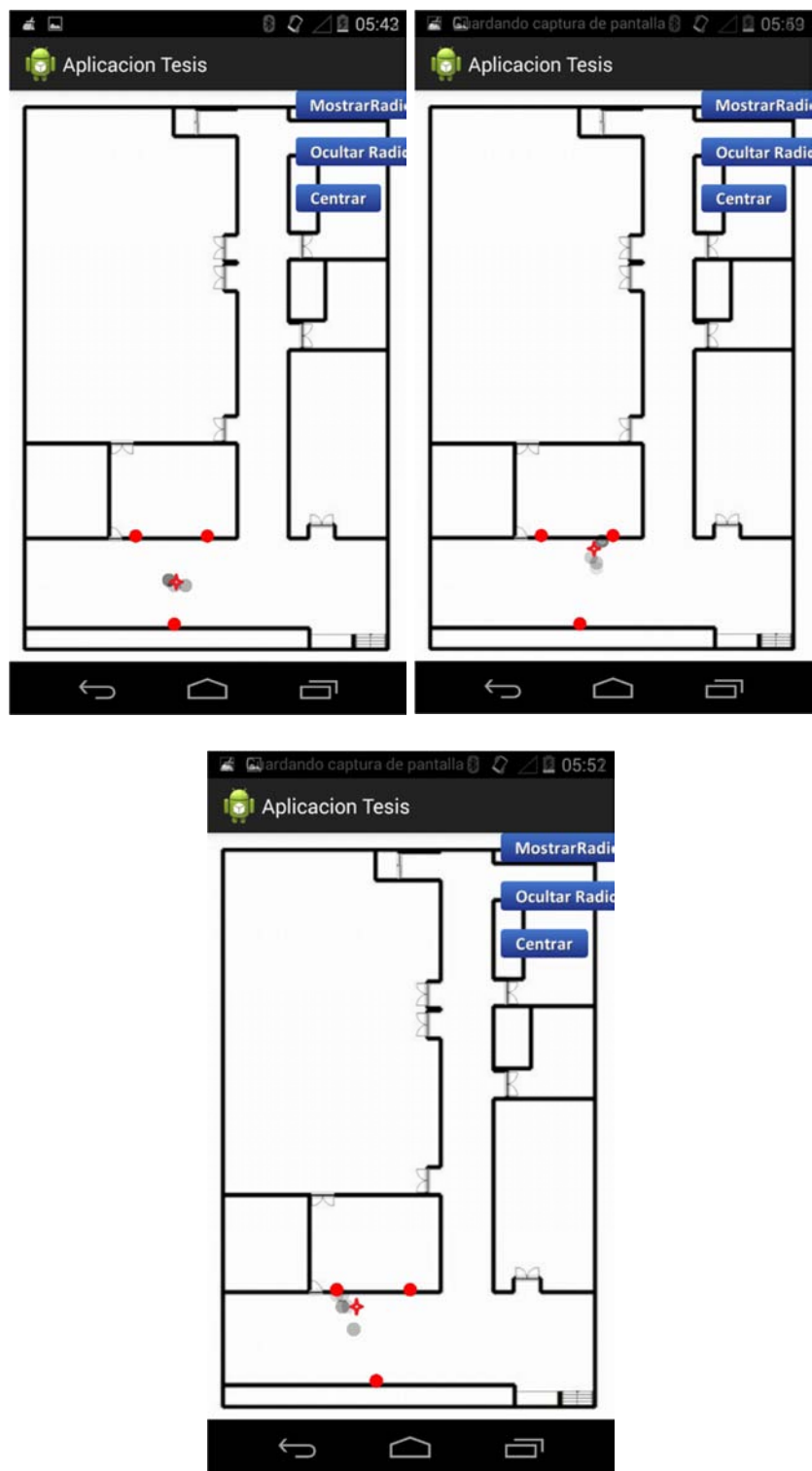
En la figura 38 se puede observar la ubicación de los beacons en el escenario escogido.

Figura 38. Ubicación de los Beacons para la prueba 4



Resultados. La distancia comprendida por los beacons en esta configuración es relativamente corta, por lo que la ubicación obtenida en el interior del espacio comprendido entre ellos es acertada en las tres posiciones de prueba. (Figura 39)

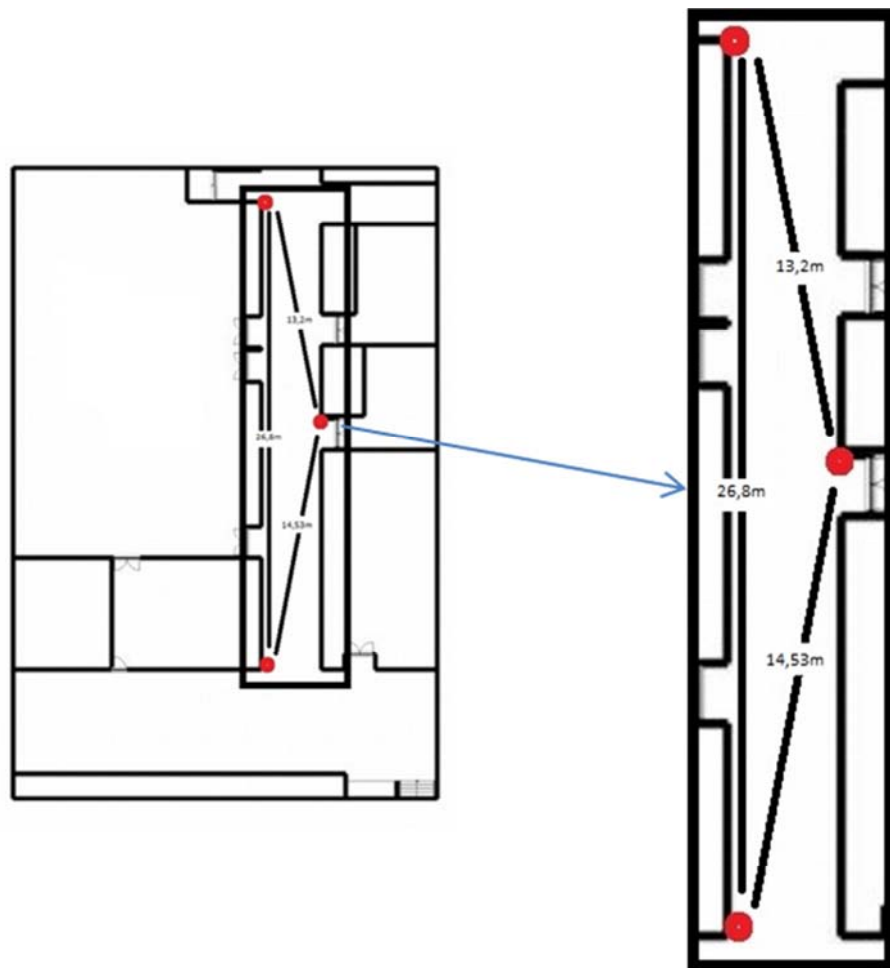
Figura 39. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 4



11.6 PRUEBA 5

Esta prueba se realizó a lo largo del corredor frente al laboratorio de electrónica y el laboratorio de producción de la universidad. Se ubican los beacons de tal manera que tengan línea de visión directa hacia el dispositivo móvil (Figura 44 y 41), luego se verifica el funcionamiento de la aplicación ubicándose en diferentes posiciones y realizando varias capturas de pantalla que podemos observar en las figura 42.

Figura 40. Disposición de los Beacons en la prueba 5



En la figura 41 se puede observar la ubicación de los beacons en el escenario escogido.

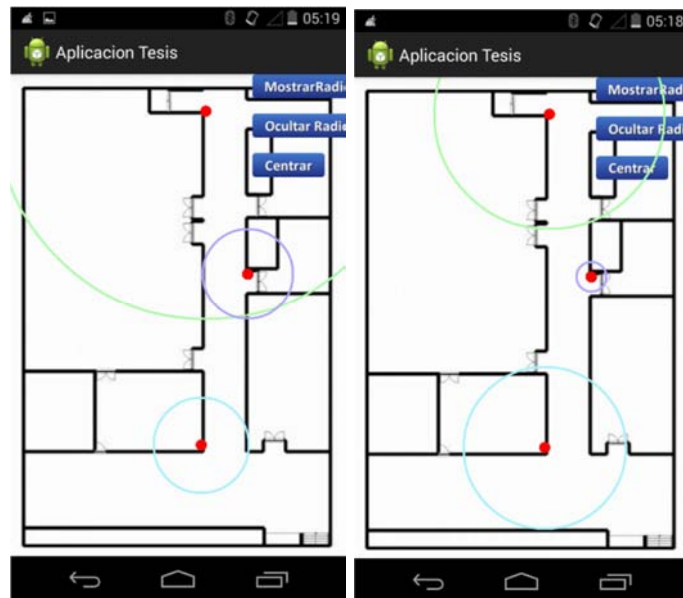
Figura 41. Ubicación de los Beacons para la prueba 5



Resultados. En la figura 42 se puede observar que esta prueba no arrojó resultados satisfactorios, debido a que 2 beacons se encontraban a una distancia mayor a la que soportaba el sistema, por lo que la toma de datos no fue exitosa y la localización no se produjo.

Adicionalmente, los ángulos agudos que tienen los beacons entre sí, generan que el beacon central distorsione los datos en el momento que el usuario pasa cerca de él, debido a la calibración dinámica con que se cuenta.

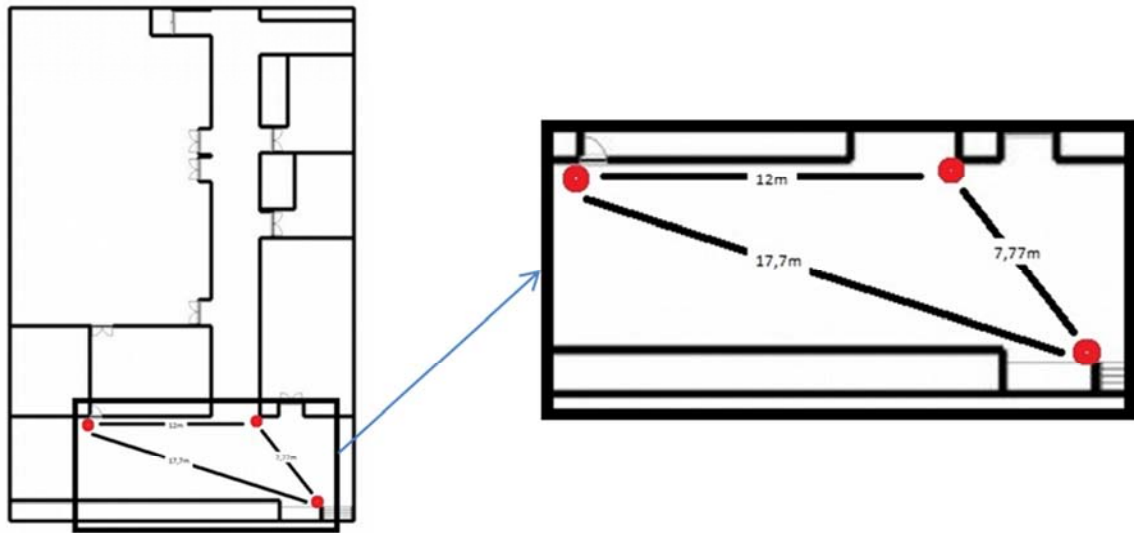
Figura 42. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 5



11.7 PRUEBA 6

Esta prueba consiste en una extensión de la prueba 4, de tal forma que se realizó en el área demarcada por las 2 paredes que definen el corredor entre la sala de dibujo y las bodegas de sótano 2, sin embargo los beacons se ubican en posiciones más retiradas como se especifica en la figuras 43 y 44.

Figura 43. Disposición de los Beacons en la prueba 6



En la figura 44 se puede observar la ubicación de los beacons en el escenario escogido.

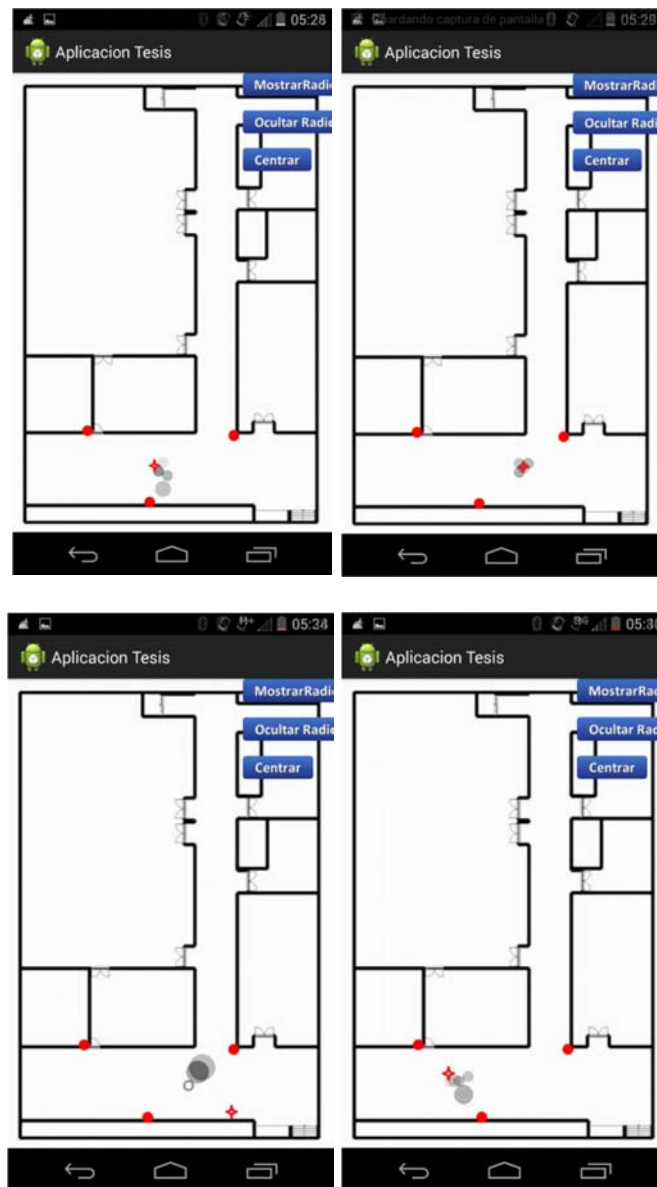
Figura 44. Ubicación de los Beacons para la prueba 6



Resultados. La disposición de los beacons para esta prueba permite que el usuario se encuentre en línea de visión directa con ellos en todo momento, por lo que no se genera una distorsión de la señal debido a obstáculos.

En la figura 45 se observa como el sistema es capaz de ubicar con precisión al dispositivo móvil excepto en el caso que este salga del triángulo generado por los beacons, en cuyo caso la aplicación solo muestra el lugar por donde salió del triángulo pero es incapaz de seguirlo generando ubicaciones erróneas de donde se encuentra el dispositivo móvil.

Figura 45. Capturas de pantalla de la aplicación en prueba 6



11.8 RESULTADOS OBTENIDOS

- La aplicación puede llegar a tener un retardo de hasta 6 segundos para determinar la posición, debido a que la librería empleada para el desarrollo de la aplicación puede ocasionar retardos en el momento de la toma de la información.

- La localización es más precisa cuando la persona se encuentra al interior del espacio comprendido entre los beacons, lo cual es esperado debido a que su implementación una vez se continúe con el proyecto exige que todo el espacio a cubrir tenga un numero de beacons suficiente de manera que el usuario siempre se encuentre al interior de 3 beacons como mínimo.
- Los beacons deben estar a la altura de la persona promedio, de tal manera que la medida obtenida sea en 2 dimensiones y no genere una tercera dimensión debido a la altura del beacon con respecto al dispositivo receptor tal como se muestra en la figura 46.

Figura 46. Altura recomendada para ubicar los beacons



- Hay muchas fuentes de interferencia, por lo que la señal puede variar varias veces por segundo generando distorsión en la medida. Sin embargo, esto se contrarresta por medio de programación y se logró una mejor precisión obviando la interferencia del sótano disponiendo de una re calibración constante en el momento en que el dispositivo detecta cercanía a cualquiera de los beacons.
- La orientación física de los beacons (ubicarlos encima de una superficie horizontal o vertical) no genera cambio en la lectura de la información. Esto se determinó modificando la manera en que los beacons estaban puestos en las pruebas.

12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA APLICACIÓN

12.1 ESPECIFICACIONES DE LA APLICACIÓN

- Android 4.4+.
- 3 Beacons.
- Distancia máxima entre beacons de 14m en línea de visión directa.
- Español.
- Resolución soportada: 720p.
- Altura de los beacons: Entre 1,2m y 1,7m

Se debe tener en cuenta que la aplicación no se encuentra en su fase final, sino que por el contrario es un prototipo que se desarrollado para dar respuesta al problema planteado, por lo que muchas de sus funciones están limitadas, sin embargo está sujeto a mejoras por medio de actualizaciones que incluirán un tiempo de respuesta más corto, mayor precisión en la detección del usuario, una mejor interfaz, entre otros.

13. PRESUPUESTO

El hardware que se necesita para la realización de este proyecto es muy poco, debido principalmente a que la mayor parte se basa en programación desarrollada en software de licencia gratuita, por lo que el mayor costo se verá reflejado en la mano de obra de los estudiantes que lo realizaron.

Cuadro 11. Presupuesto

Cantidad	Concepto	Valor Unitario	Valor Total
3	Beacon Estimote	33USD	99USD
3	Beacon Kontakt	28USD	84USD
		Total(USD)	183USD
		Total(COP)	434678,07*

*Valor del dólar a enero 04 de 2015

14. CONCLUSIONES

La aplicación desarrollada permite determinar la ubicación del usuario en el espacio determinado por el escenario escogido dependiendo únicamente de los beacons, evitando así el uso de redes móviles y del sistema de posicionamiento global.

La elección del escenario es una parte de gran importancia en el desarrollo del proyecto debido a que la implementación del sistema puede variar dependiendo del ambiente en el que se encuentre. En nuestro caso, el espacio físico definido por el escenario es el sótano de la universidad, en donde se encontraron diversas fuentes de interferencia, sin embargo, esto es una restricción que se genera en la mayor cantidad de casos de localizaciones indoor. En la aplicación desarrollada, se soluciona este problema aumentando el número de beacons e intentando mantener una línea de visión con el usuario en todo momento, además de realizar calibraciones automáticas en el sistema por medio de software transparentes para el usuario.

A pesar de haber logrado una localización, se encontraron problemas en relación con la funcionalidad de los beacons, debido principalmente a que son dispositivos desarrollados para emitir una señal única (de manera periódica) que genere una acción en el usuario (receptor) en el momento de que es detectada. Se hizo uso de esto y por medio de software se tomó la señal emitida por los beacons y se trabajó sobre los parámetros que se obtienen de ella, de manera que aplicando un algoritmo de localización se pudiera realizar una ubicación precisa del usuario.

A partir de las pruebas realizadas, se determinó que la aplicación desarrollada puede tener un retardo de hasta 6 segundos para calcular la posición del dispositivo. Esto se debe a que en la implementación de la librería de AltBeacon para el desarrollo de la aplicación, se tiene restringidos cambios bruscos en la distancias obtenidas entre el emisor (beacon) y el receptor (dispositivo móvil), dando como resultado una implementación que tarda más tiempo en adaptarse a un cambio de posición pero lo hace con una mayor precisión.

Se determinó que el funcionamiento óptimo del sistema se da en el interior del espacio comprendido por los beacons, debido a que el rango de emisión de la señal que poseen es limitado, por lo que se plantea que se hará uso de un número de beacons suficiente para cubrir el espacio en donde se realizará la ubicación en el momento en que la aplicación se desarrolle a mayor escala. Así mismo, se debe tener en cuenta que el funcionamiento de la aplicación será ampliado para prestar

servicios basados en el contexto, lo que quiere decir que se hará uso de los parámetros *Major* y *Minor* (únicos para cada beacon) por lo que el uso de un alto número de beacons se convierte en un requerimiento de la implementación.

En el momento de realizar las primeras pruebas con los beacons, se determinaron inconsistencias en relación con los datos proporcionados en las especificaciones técnicas de los fabricantes en relación con la distancia efectiva de emisión de datos, siendo esta considerablemente menor, de manera que el número de beacons que se deben emplear para cubrir un espacio determinado tiende a aumentar.

A pesar de que las especificaciones de los beacons proporcionan información técnica en relación con el radio de emisión de datos y los niveles de precisión que manejan, se encontró que esto tiende a parecerse poco a la realidad debido a que los datos que brinda el fabricante son bajo condiciones ideales (espacio abierto, poca o ninguna fuente de interferencia, máxima potencia y batería en el dispositivo, entre otros), mientras que en la implementación realizada habían múltiples fuentes de interferencia, además de paredes que generan reflexión de la señal, por lo que el rango de trabajo de los beacons se disminuye considerablemente y se generan restricciones que cambian completamente las especificaciones ideales.

BIBLIOGRAFÍA

Análisis de las técnicas de localización y posicionamiento en los sistemas de telecomunicaciones [en línea]. México: Itaso, 2015 [consultado el 10 enero 2015]. Disponible en Internet: [http://www.itsao.edu.mx/default/Revista/Publicaciones/Survey%20Tecnologias\(ITS AO\).pdf](http://www.itsao.edu.mx/default/Revista/Publicaciones/Survey%20Tecnologias(ITS AO).pdf)

Android studio overview [en línea]. Android Developers, 2015. [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://developer.android.com/tools/studio/index.html>

Beacons [en línea]: La comunicación inteligente. Geomobile "your mobile partner", 2015. [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.geomobile.es/idi-beacons.php>

BELANDRIA, Edgar; PAREDES, José Luis y VILORIA, Francisco localización de móviles en telefonía celular usando redes neuronales. En: Interciencia. 2006. Vol. 31, no, 4 [en línea]. [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442006000400010&script=sci_arttext

Bluetooth low energy [en línea]. Bluetooth Technology Website, 2015 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://www.bluetooth.com/Pages/low-energy-tech-info.aspx>

Bluetooth 4.0 Modules [en línea]. Bluegiga, 2015. [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <https://www.bluegiga.com/en-US/products/bluetooth-4.0-modules/>

Create floor plans, house plans and home plans online with [en línea]. Floorplanner.com, 2015 [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.floorplanner.com/>

Ciudades Inteligentes [en línea]. Bogotá: CINTEL, 2014. [consultado el 23 de Marzo de 2014]. Disponible en: <http://cintel.org.co/innovacion/ciudades-inteligentes/>

_____: bases de un modelo de medición de la inteligencia de la ciudad 2015 [en línea]. Bogotá: CINTEL, 204 [consultado el 13 de enero de 2015]. Disponible en: <http://cintel.org.co/wp-content/uploads/2013/06/ciudades-inteligentes.pdf>.

Conceptos básicos de RFID [en línea]: conocimiento y uso de la identificación por radiofrecuencia. México, 2015 [consultado el 06 de enero 2015]. Disponible en: http://www.intermec.com.mx/learning/content_library/white_papers/localized/wpABC_MX.pdf.

Create floor plans, house plans and home plans online with [en línea]. Floorplanner.com. 2015 [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.floorplanner.com/>.

El espectro electromagnético y sus aplicaciones [en línea]. Sabe.ula, 2015 [consultado el 05 De enero 2015]. Disponible en: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16746/1/espectro_electromagnetico.pdf

English home [en línea]. Bluetooth.org, 2015 [consultado el 06 De enero 2015]. Disponible en: <https://www.bluetooth.org/en-us>

Estimote Beacons — Press Kit [en línea]. *Estimote*, 2015. [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://estimote.com/estimote-press-kit.html>.

GALLARDO, Domingo y otros. Aplicación del muestreo bayesiano en robots móviles: estrategias para localización y estimación de mapas del entorno [en línea]. Univesidad de Alicante [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://www.dccia.ua.es/~domingo/articulos/gallardo-tesis.pdf>.

GAST, Matthew S. Building Applications with IBeacon: Proximity and Location Services with ... - - [en línea]. Google Libros. 2015. [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=JiuiBAAQBAJ&pg=PA13&lpg=PA13&dq=ibeacon+protocol&source=bl&ots=F3jorPCsPw&sig=rELQaqeMCriKqmOQ3Z7Vw11tWTs&hl=es&sa=X&ei=tEGsVMLBNcWkgwTXylH4DQ&ved=0CHIQ6AEwCDgK#v=onepage&q=ibeacon%20protocol&f=false>

Geoposicionamiento GSM independiente de la red móvil [en línea]. Kriptópolis, 2015. [consultado el 10 January 2015]. Disponible en: <http://www.kriptopolis.com/geoposicionamiento-gsm-7>.

GETE, Oscar. Estudio de disponibilidad de señales de localización [en línea]. GPS/GSM, 2015 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6671/1/pfc_OscarGete.pdf

GONZÁLEZ BLÁZQUEZ, Adolfo; MULAS GÓMEZ, Pablo Pedro y RIVERA RETAMAR, Rafael
Localización de dispositivos móviles en interiores usando redes Wireless [en línea]. Madrid: Universidad Carlos III, 2007 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/9131/1/Memoria.pdf>

Google Maps indoor para espacios cerrados | TICbeat [en línea]. Google Maps, 2014 [consultado el 19 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://www.ticbeat.com/tecnologias/google-maps-indoor/>

Indoo.rs welcomes StickNFind as partner | Accurate real-time Indoor Localization . 2014. indoo.rs welcomes StickNFind as partner | Accurate real-time Indoor Localization [en línea]. . Disponible en: <http://indoo.rs/indoo-rs-welcomes-sticknfind-as-partner/>. [consultado el 20 de marzo de 2014].

GUERRA, Lenin Eduardo. Diseño e implementación de un prototipo para la localización de un objeto en movimiento mediante zigbee [en línea]. Tesis de grado Ingeniero Electrónico y de computación. Escuela Superior Tecnológica de Chimborazo, 2010 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/374/1/38T00183.pdf>

How do iBeacons work? [en línea]. Blog of Adam Warski, 2015. [consultado el 16 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.warski.org/blog/2014/01/how-ibeacons-work/>

Indoor Maps – About – [en línea]. Google Maps, 2014 [consultado el 19 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/>

Indoor Positioning System (IPS) for Indoor Location Safety | [en línea]. Guardly, 2014 [consultado el 19 de Marzo de 2014]. Disponible en: <https://www.guardly.com/technology/indoor-positioning-system>

Infrasonido y ultrasonido. 2015 [en línea]. Colombia: Unad, 2015 [consultado el 05 De enero 2015]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208042/EXE_Act_11/.

NIKOOKAR, Hodayoun y RAMJEE Prasad. Introduction to ultra wideband for wireless communications. Springer, 2009. 132 p.

JARA WERCHAU, Pablo y NAZAR, Patricia. Estándar IEEE 802.11 X de las WLAN [en línea]. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2009 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/standard_802_11.pdf

Kalman Tracking para peatones basados en TOA para sistemas móviles celulares [en línea]. 2015. [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://www.fing.edu.uy/iie/ense/asign/tes/materiales/monografias/KalmanTracking.pdf>

La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi"). 2015 [en línea]. Disponible en: http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/Informacin/coitInforme_wifi_2004.pdf. [consultado el 07 De enero 2015].

Localización de dispositivos móviles en interiores usando redes wireless [en línea]. Universidad Carlos III de Madrid [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/9131/1/Memoria.pdf>.

Location Sensing Techniques. [en línea]. Seattle: Intel-research.net, 2015 [consultado el 07 Enero 2015]. Disponible en: <http://seattle.intel-research.net/people/jhightower/pubs/hightower2001techniques/hightower2001techniques.pdf>.

Logical Link Control and Adaptation Protocol | Bluetooth Development Portal. 2015. *Logical Link Control and Adaptation Protocol* | Bluetooth Development

Portal. [en línea]. [Consultado el 08 de enero 2015]. Disponible en: <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/L2CAP.aspx>

MARTÍNEZ GUASHIMA, Oswaldo Geovanny. Localización Indoor Multimodal [en línea]. Tesis Máster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Comunicaciones. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2013 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33038/Memoria_Martinez_Oswaldo.pdf?sequence=1

Métrica euclideana [en línea]. EcuRed., 2015 [consultado el 08 de enero 2015]. Disponible en: http://www.ecured.cu/index.php/M%C3%A9trica_euclideana

NAVARRO HUERGA, Miguel. Análisis de medidas de potencia en interiores para su aplicación en sistemas de localizaón basados en la técnica del fingerprinting [en línea]. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá, 2010 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/9742/Tesis%20NAVARRO%20HUERGA%20MIGUEL%20%C3%81NGEL.pdf?sequence=1>

NÚÑEZ SOBRINO, M^a Ángeles y VILLENA ROMÁN, Julio. Sistema de localización en redes wi-fi basado en fingerprint [en línea]. Ingeniera técnica: sistemas de Telecomunicación Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, [consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11912/PFC_MAngeles_Nunez_Sobrino.pdf?sequence=1

Radio localization of mobile terminals in wireless networks [en línea]. DSP, 2007 [consultado el 10 enero 2015]. Disponible en: <http://risorse.dei.polimi.it/dsp/tlc/position.htm>

Red LAN inalámbrica [en línea]. Cisco Systems, 2015. [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: http://www.cisco.com/web/ES/solutions/es/wireless_lan/index.html.

Redes de área local [en línea]. [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.ie.itcr.ac.cr/marin/telematica/trd/RedesInalambricas.pdf>.

RFID: tecnología, aplicaciones y perspectivas [en línea]. 2015 [consultado el 06 de enero 2015]. Disponible en: http://www.libera.net/uploads/documents/whitepaper_rfid.pdf.

SABURIDO, Álvaro. OFDM: multiplexación por división de frecuencias ortogonales [en línea]. Modulo 0 Tutoriales, 2015 [consultado el 08 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.modulo0tutoriales.com/ofdm-multiplexacion-por-division-de/>

Sistema de localización de objetos en espacios cerrados por medio de RF 2014 [en línea]. Universidad autónoma de México, [Consultado el 20 de marzo de 2014].Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2560/Tesis%20Completa.pdf?sequence=1>

Sistema de localización indoor [en línea]. Gruponeat, 2014 [consultado el 20 de marzo de 2014].Disponible en: <http://www.gruponeat.com/nuestras-soluciones/tecnologia-sector-ociosanitario/residencias/sistema-de-localizacion-indoor>

Sistemas de transmisión [en línea]. Zigbee, 2014. [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>

Sistemas de localización y medición de distancias basados en ultrasonidos: Estudio e implementación. 2015 [en línea]. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9440/1/Proyecto-final.pdf>. [consultado el 06 De enero 2015].

Sistemas de Transmisión [en línea]. *ZIGBEE*. 2015 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>.

Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks [en línea]. Fundación Orange, 2015 [consultado el 05 De enero 2015]. Disponible en: <http://fundacionorange.es/areas/historico/pdf/3.pdf>

Tecnologías y servicios para la sociedad de la información [en línea]. Madrid: Universida Politécnica de Madrid, 2005 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en:

http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Organos%20de%20Gobierno/Consejo%20Social/Actividades/tecnologias_servicios_para_sociedad_informacion.pdf

Ubiquitous Computing [en línea]. 2015 [consultado el 13 de enero de 2015]. Disponible en: <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>

VERA BARRERA, Rodrigo Felipe Sistema de localización de personas y recursos para recintos cerrados, basado en Wi-Fi [en línea]. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Computación. Chile: Universidad de Chile, 2010 [consultado el 20 de marzo de 2014].

Disponible en: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-vera_rb/html/index-frames.html

UWB (Ultra Wide-Band). 2015. *UWB (Ultra Wide-Band)* [en línea]. Disponible en: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/ultrawideband.php>. [consultado el 06 De enero 2015].

Welcomes StickNFind as partner | Accurate real-time Indoor Localization [en línea]. Indoo.rs, 2014 [consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://indoo.rs/indoo-rs-welcomes-sticknfind-as-partner/>

Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea]. Florida: Wikimedia, 2014. [consultado el 25 de Marzo de 2014]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/>

Windows Phone [en línea]. Blog de Ilíberi Software & Geografía, 2014 [consultado el 20 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://iliberi.com/blog/category/windows-phone/>

What are beacons and what they do? [en línea]. Infographic, 2015 [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <http://kontakt.io/blog/infographic-beacons/>.

What is iBeacon? A Guide to Beacons [en línea]. iBeacon.com Insider. 2015. [consultado el 07 de enero 2015]. Disponible en: <http://www.ibeacon.com/what-is-ibeacon-a-guide-to-beacons/>

WiMAX Forum Technical Specifications [en línea]. 2015 [consultado el 07 De enero 2015]. Disponible en: <http://www.wimaxforum.org/resources/technical-specifications>.

ANEXOS

Anexo A. Especificaciones técnicas Estimote.

Identificacion	Estimote model REV.D3.3 Radio Beacon.
Rango de frecuencia	2400 MHz to 2483.5 MHz
Numero de canales predeterminados	40
Numero de canales de voz/datos/TV	40 Canales de datos
Separacion canales de Tx/Rx	2 MHz
Separacion canales adyacentes	2 MHz
Estabilidad de la frecuencia	<20ppm
Radiacion del 2do armonico	<25 dBuV
Modo de emision	no mas de 20 DB
Ancho de banda de emision	500 KHz
Tipo de modulacion requerida	GFSK
Potencia de salida	4 dBm
Sensibilidad	-93 dBm
CPU	32-bit ARM® Cortex M0
Flash memory	256 kB

Anexo B. Especificaciones Tecnicas Kontakt.io.

Dimensiones	55mm x 55mm x 15mm (2.16" x 2.16" x 0.59")
Peso	23g (0.81oz)
Material	Plastico ABS reciclable
Identificacion	Kontakt beacon
Rango de frecuencia	2.4Hz
Velocidad de datos permitida	250kBs, 1Mbps y 2Mbps
Rango de trabajo	70m
Potencia de salida	-30dBm a +4dBm
CPU	32-bit ARM® Cortex™ M0
Flash memory	256KB
Ram memory	16KB